

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**Coprocessamento de dados litogeoquímicos e
pedogeoquímicos no sector da mina de Argozelo; modelação
2D e 3D e delimitação de domínios anómalos**

João Samuel Sebastião Silveira Ramos

Mestrado em Geologia Económica
Especialização em Prospeccção Mineral

Relatório de Estágio orientado por:
Mário Abel Carreira Gonçalves
Pedro Rodrigo Alves dos Santos

2019

Dedicatória e Agradecimentos

O presente trabalho encontra-se redigido segundo as normas do Acordo Ortográfico de 1945.

Muito do trabalho desenvolvido depende das pessoas que nos rodeiam e da maneira como elas nos influenciam. É por isso que antes de mais necessito de agradecer a todas as pessoas que de alguma forma influenciaram o desenvolvimento do meu relatório de estágio.

Em primeiro lugar gostaria de referenciar a apreciação que tenho em ter tido a oportunidade de aprender e trabalhar com muitos dos docentes desta casa de Geologia, especialmente durante os últimos dois anos em que cresci bastante, muito graças ao acompanhamento dos professores que mais me influenciaram, o Prof. António Mateus, o Prof. Mário Gonçalves e o Prof. Miguel Gaspar. Foi uma honra e um privilégio ser vosso aluno (mesmo depois de muitas manhãs sofridas) e terei ainda maior honra de poder ser considerado um colega. Gostaria também de deixar uma apreciação especial ao meu orientador de tese Prof. Mário Gonçalves por todo o tempo disponibilizado, instruções e conselhos que sem dúvida muito influenciaram para a qualidade final deste trabalho e ao meu co-orientador da tese, Pedro Santos, que tive a grande oportunidade de conhecer e que rapidamente se tornou um amigo pelo qual teria muito gosto de voltar a trabalhar.

Em seguida tenho de agradecer às pessoas que tornaram isto tudo fisicamente possível, a minha mãe Filomena Sebastião e o meu pai Pedro Silveira Ramos. Sem o vosso apoio provavelmente nada disto teria acontecido e procuro um dia poder retribuir tudo aquilo que me deram. Quero também agradecer em particular ao meu tio Johnny Thomassen, um “jovem” companheiro que sempre influenciou a minha maneira de interpretar muitas questões da vida e quem eu admiro muito pela capacidade que sempre teve em equilibrar o trabalho com o tempo livre durante todos os meus 25 anos.

Por último, mas igualmente ou mais importante, mando o meu eterno agradecimento aos amigos e colegas de curso, a família que escolhemos. Muitos conheci e muitos me influenciaram, directa ou indirectamente, mas são pessoas como o Rodrigo Silva, a Inês Roque, o Diogo Ribeiro e a Rita Dos Santos que ficam para o resto da vida. São os melhores exemplos de dedicação, trabalho, força, companheirismo, amizade e descontração que tenho na minha vida. Muitas experiências partilhámos e muitas mais havemos de partilhar com certeza. Um brinde a vocês.

Gostava ainda de agradecer a todos os meus colegas de mestrado que me orgulho de chamar geólogos e que terão, com certeza, grandes carreiras, em especial aos meus “companheiros da trincheira”, Eduardo Soares, João Barata, João “Jardas” Azevêdo, João Franca e Rui Santos, aos meus “afiliados de Argozelo”, Maria Dias e Pedro “Tasga” Francisco, e à Inês Martins, pelo apoio e boas experiências que partilhámos.

Respeito, trabalho, saúde, carácter, amizade, diversão e aventura. São algumas das muitas coisas pelas quais eu quero ser reconhecido, que aprendi a desenvolver e a conjugar nos últimos 5 anos e as ferramentas que guardo na mala que levo comigo para a próxima etapa da minha vida.

RESUMO

O presente relatório de estágio foi realizado em cooperação com a EDM incidindo sobre o sector da mina de Argozelo e descreve as actividades realizadas durante o processamento de dados geoquímicos e desenvolvimento de modelos a duas e três dimensões com o objectivo de delimitar domínios geoquimicamente anómalos.

A faixa estano-tungstífera onde se insere a mina de Argozelo foi explorada, de forma intermitente, desde o século XIX, até ao final da década de oitenta do século passado.

O jazigo de Argozelo, localizado no distrito de Bragança, está inserido em formações de xistos e grauvaques de idade silúrica/devónica que constituem as unidades metassedimentares incorporadas na sequência litológica do Complexo Parautóctone, deformada durante a Orogenia Varisca. O contexto geoes estrutural da mineralização infere um elevado potencial, quer em extensão lateral quer em profundidade, da progressão de domínios de elevadas concentrações de fases minerais de interesse económico.

Trabalhando em conjunto com o desenvolvimento de mapas de anomalias geoquímicas e determinados métodos geoestatísticos, a prospecção geoquímica é uma das ferramentas mais importantes, tanto para fases iniciais, como a prospecção regional, como para objectivos mais focalizados onde o detalhe aumenta (fases finais da prospecção e transições para exploração experimental).

A elevada abundância de apatite é um aspecto mineralógico de elevado interesse nesta região. Os teores de W e P em amostras de solos atingem os 4700 ppm (média de 23 ppm) e 2453 ppm (média de 510 ppm) respectivamente. No caso das amostras de sondagens, os teores de W atingem 14900 ppm (média 875 ppm) e os de P atingem 10700 ppm (média 2095 ppm). A correlação entre os dois elementos demonstra um controlo da concentração de fósforo sobre os domínios que definem as fases minerais de W, como scheelite e volframite.

Os resultados obtidos a partir dos mapas de anomalia geoquímica elementar da amostragem de solos, concorrem para a ideia de que, apesar da propagação de domínios anómalos para sul, os teores médios de concentração de W e Sn vão decrescendo nesse sentido. Contrariamente, a norte, os teores mantêm-se relativamente elevados e acima do *threshold* regional de 65 ppm para o W e 27 ppm para o Sn, o que permitiu definir teores de corte locais de 257 ppm e 64 ppm para o W e Sn, respectivamente.

Os veios mineralizados, de pequenas espessuras, estão cartografados em pacotes, de orientação média N25°E e são facilmente identificáveis em amostras de mão. De uma forma geral, os veios portadores da fase principal de mineralização são compostos por uma camada fina de salbanda micácea e apatite junto às paredes destas estruturas, quantidades significativas de scheelite \pm volframite e cassiterite, juntamente com sulfuretos maciços de naturezas químicas diferentes como arsenopirite, pirite, calcopirite e pirrotite.

A modelação 3D em conjunto com os modelos processados a duas dimensões permitem inferir uma área de maior interesse, superior a 60 000 m² localizada na progressão, para norte, dos veios mineralizados entre as sondagens ARG1503 e ARG1505-ARG1504. Foram então definidos domínios de elevado potencial para conterem veios mineralizados com concentrações anómalas de W e Sn.

Palavras-Chave: Complexo de Mantos Parautóctones, Mineralizações estano-volframíticas, Variograma, Geoestatística, Modelação Multifractal.

ABSTRACT

The current internship report, carried out in cooperation with EDM focusing on the Argozelo mine sector, describes the activities performed during the processing of geochemical data and the development of two- and three-dimensional models with the intent of delimitating anomalous domains.

The tin-tungsten belt where the Argozelo mine is located was explored in a periodic way since the nineteenth century until the late eighties of the last century.

The Argozelo deposit located in the district of Bragança is inserted in the schist and greywackes formations of silurian/devonic age that constitute the metasedimentary units incorporated in the lithological sequence of the Para-autochthonous Complex, deformed during the Variscan orogeny. The geostructural context of the mineralization infers a high potential, either in lateral extension or in depth, of the progression of domains of high concentrations of mineral phases of economic interest.

Working in conjunction with the development of geochemical anomaly maps and certain geostatistical methods, geochemical prospecting is one of the most important tools for both early stages and regional prospecting, as well as for more focused goals where detail increases (final stages of prospecting and transitions for experimental exploration).

The high abundance of apatite is a highly interesting mineralogical aspect in this region. Tungsten and P contents in soil samples reached 4700 ppm (23 ppm average) and 2453 ppm (510 ppm average) respectively. In the case of survey samples, W highest levels reached 14900 ppm (average 875 ppm) and P levels reached 10700 ppm (average 2095 ppm). The correlation between both elements demonstrates a control from P concentrations over the domains that define W mineral phases, like scheelite and wolframite.

The results obtained from the beginning of the production of elementary soil geochemistry maps contribute to the idea that, even though anomalous domains show propagation to the south, the average concentration levels of W and Sn are decreasing to the south. In contrast, to the north, the levels remain relatively high and above the regional threshold of 65 ppm for W and 27 ppm for Sn, which allowed to define local cut-off contents of 257 ppm and 64 ppm for W and Sn, respectively.

The mineralized veins, of small thickness, are mapped in clusters, with an average orientation of N25°E and are easily identifiable in hand samples. In general, the veins that contain the main phase of mineralization are composed of a thin selvage layer of micaceous nature together with apatite near the walls of these structures, significant amounts of scheelite \pm wolframite and cassiterite, together with massive sulphides of different chemical natures such as arsenopyrite, pyrite and chalcopyrite.

The 3D modeling coupled with 2D models allow us to infer an area of greater interest, above 60 000 m², located in the northern progression of mineralized veins between the ARG1503 and ARG1505-ARG1504 drillhole sites.

Key words: Parautochthonous Complex, Tin-Tungsten mineralizations, Variogram, Geostatistics, Multifractal Modeling.

Índice

Dedicatória e Agradecimentos	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
I. INTRODUÇÃO.....	- 9 -
II. Caracterização Geológica do jazigo de Argozelo.....	- 11 -
1. Enquadramento Geográfico.....	- 11 -
2. Enquadramento Geológico	- 11 -
3. Evolução geodinâmica no ciclo varisco	- 14 -
III. Mineralizações estano-volframíticas.....	- 18 -
1. Formação de jazigos.....	- 18 -
2. Tipos de alteração.....	- 18 -
3. Mecanismos de transporte de W.....	- 19 -
4. Mecanismos de transporte de Sn	- 20 -
IV. Recolha de informação geoquímica e de amostras de sondagem.....	- 21 -
1. Sanjas	- 21 -
2. Solos.....	- 22 -
3. Levantamentos geofísicos	- 23 -
4. Sondagens.....	- 25 -
A. Descrição das sondagens observadas na caroteca de Argozelo.....	- 25 -
B. Métodos Analíticos.....	- 28 -
1. Sanjas	- 28 -
2. Solos.....	- 28 -
3. Sondagens.....	- 28 -
V. Modelação Fractal e Geoestatística	- 29 -
A. Modelos de mapeamento que utilizam a modelação multifractal	- 30 -
1. Concentração-área	- 30 -
2. Singularidade.....	- 30 -
B. Conceitos matemáticos utilizados para a elaboração dos mapas de anomalias	- 31 -
1. Semivariograma.....	- 31 -
2. Krigagem	- 33 -
VI. Tratamento dos dados geoquímicos – Análise geoestatística.....	- 34 -
VII. Mapeamento Geoquímico	- 40 -
1. Modelação de mapas em 2D.....	- 40 -
2. Modelação de mapas em 3D.....	- 42 -
VIII. Resultados e discussão	- 44 -
A. Gráficos de correlações elementares	- 44 -

3. Perfis de solos Longitude vs Teor W (<i>c/thresholds</i>)	49 -
4. Perfis de sondagens	50 -
A. Modelação 2D	51 -
1. Mapas de pontos de amostragem.....	51 -
2. Krigagem s/ anisotropia vs Krigagem c/ anisotropia.....	53 -
B. Modelação 3D	57 -
IX. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62 -
BIBLIOGRAFIA.....	64 -
Anexo 1 – Localização geográfica de sanjas realizadas pela EDM	68 -
Anexo 2 – Tabelas de estatística descritiva das amostras de solos e sondagens	69 -
Anexo 3 – Matrizes de correlação de amostras de solos (EDM & IGM).....	70 -
Anexo 4 – Matriz de correlação das amostras de sondagens	71 -
Anexo 5 – Matrizes de correlação das sondagens (ARG1501 – ARG1502).....	72 -
Anexo 6 – Matrizes de correlação das sondagens (ARG1503-ARG1504)	73 -
Anexo 7 – Matrizes de correlação das sondagens (ARG1505 – ARG1506).....	74 -
Anexo 8 – <i>Thresholds</i> regionais e locais das amostras de solos	75 -
Anexo 9 - Projecção gráfica de correlações elementares entre Mn-Fe-W a partir de amostra de solos da IGM	76 -
Anexo 10 – Indicadores analíticos da assinatura geoquímica de pegmatitos tipo LCT	77 -
Anexo 11 – Perfis de sondagem ARG1506 - A	78 -
Anexo 12 – Perfis de sondagem ARG1506 - B.....	79 -
Anexo 13 – Tabela de parâmetros utilizados na modelação em 2D do W	80 -
Anexo 14 – Gráfico de correlação elementar entre W e razão Mn/(Mn + Fe) em amostras de sondagem.....	81 -

Lista de Figuras

Figura II.1 - Localização geográfica de Argozelo.....	11 -
Figura II.2 - Mapa de enquadramento geológico regional de Argozelo (Carta Geológica de Portugal à escala 1:1 000 000, edição 2010, LNEG-LGM, Lisboa).....	12 -
Figura II.3 - Mapa geológico regional de Argozelo com litologia das unidades principais aflorantes (adaptado de Pereira, 2000).....	13 -
Figura II.4 - Esquema interpretativo demonstrando a transição da direcção principal de estiramento sobre o eixo cinemático b (esquerda) para o eixo cinemático a (direita). Adaptado de Rodrigues, J. F. et al., 2006a.	15 -
Figura II.5 - Estruturas principais formadas durante a orogenia Varisca na Zona Centro-Ibérica. A (vermelho) = estiramento em b (adaptado de Dias e Ribeiro, 1994).....	16 -
Figura III.1 – Esquema interpretativo de um depósito estano-volfrâmico, Reed, 1986.....	18 -
Figura IV.1 - Trabalhos de escavação de trincheiras realizados pela EDM.....	21 -
Figura IV.2 - Localização dos perfis de amostras de solos (EDM – amarelo; Billington – verde; IGM – azul).....	22 -
Figura IV.3 - Localização dos perfis geofísicos.....	24 -
Figura IV.4 - Perfis de levantamentos geofísicos de resistividade.....	25 -
Figura IV.5 - Localização das sondagens realizadas pela EDM (rosa) e SFM (amarelo).....	26 -
Figura V.1 – Projecção do variograma obtido através do modelo esférico no <i>Target</i> , para os valores de concentração de W. Eixo yy representa o patamar e eixo xx representa o alcance.....	31 -
Figura V.2 - Esquematisação da aplicação de anisotropia no modelo de krigagem do ArcGIS.	32 -
Figura VI.1 - Exemplo de resultados gráficos para o estudo de relações elementares: W vs Mn/(Mn+Fe) correspondente aos dados obtidos em amostras de sondagens.....	35 -
Figura VI.2 - Exemplo de resultados gráficos de relações elementares designados para o estudo de afinidade geoquímica entre P e W em amostras de solos.....	36 -
Figura VI.3 - Alguns exemplos de amostras recolhidas para análise macro e microscópica a partir dos critérios aplicados na selecção das secções.	37 -
Figura VI.4 - Projecção de teor em profundidade de elementos analisados na sondagem ARG1505.-	38 -
Figura VI.5 - Amostras de solos utilizando o W como exemplo: Gráfico de Log(concentração-área) desenvolvido para o cálculo de thresholds.	39 -
Figura VII.1 – Distribuição geoquímica de W a partir de amostras de solos (com anisotropia).....	41 -
Figura VIII.1 - Distribuição das relações Fe-Mn (ppm) com W (ppm) em cada perfil de amostragem de solos realizado pela EDM.....	44 -
Figura VIII.2 - i) Projecção de P/W normalizados para Ca, divididos pelos perfis de amostragem de solos; ii) projecção da concentração de P/W, em cada perfil de amostragem de solos.	45 -
Figura VIII.3 - Projecção P vs W/Ca correspondente aos dados de amostras de sondagens.	46 -
Figura VIII.4 - Distribuição gráfica entre os índices estanho-volfrâmio e índice metais base relativamente aos dados de sondagens.	47 -
Figura VIII.5 - Projecção de P/W dos dados de amostras de sondagem. A linha a vermelho assinala o teor de P que condiciona as fases de W que, neste caso, refere-se aos 6000 ppm's de P.	47 -
Figura VIII.6 - Projecções gráficas de relações elementares de amostras de solos, em ppm: i) Sn-Cs; ii)Sn-Li.	48 -
Figura VIII.7 - Perfis de thresholds de W comparativamente à longitude, ao longo dos perfis denominados de a) Argozelo Norte; b) Paiol Norte e c) Argozelo Sul.	49 -
Figura VIII.8 - Dois exemplos de perfis de amostragem das sondagens ARG1504 e ARG1505: A) Perfil de krigagem de W juntamente com a litologia; B) Perfil de krigagem de Sn juntamente com a litologia.....	51 -

Figura VIII.9 - Mapa de amostras de solos de tungsténio e diferentes famílias de falhas cartografadas (azul e preto) e filões mineralizados (linhas a verde, amarelo, vermelho e castanho).	52 -
Figura VIII.10 - Mapa geoquímico de tungsténio resultante de Krigagem sem anisotropia.....	53 -
Figura VIII.11 - Mapa da anomalia geoquímica de W em Argozelo (<i>cut-off</i> 65 ppm – laranja; <i>cut-off</i> 257 ppm – vermelho), com base em amostras de solos, e estruturas tectónicas associadas (linhas verdes e amarelas = filões mineralizados; linhas azuis falhas).	55 -
Figura VIII.12 - Mapa das anomalias geoquímicas de Sn (<i>cut-off</i> de 27 ppm – azul claro; <i>cut-off</i> de 64 ppm – azul escuro) e W (<i>cut-off</i> de 65 ppm – laranja; <i>cut-off</i> de 257 ppm – vermelho) em Argozelo, localização dos pontos amostrados e descontinuidades cartografadas à superfície e em profundidade... -	56 -
Figura VIII.13 - Área de mais elevado potencial, entre as sondagens ARG1503, ARG1504 e ARG1505.	57 -
Figura VIII.14 - Mapa de anomalia geoquímica de W à superfície (realizado no Target) e modelos 3D de estruturas mineralizadas, entre as sondagens ARG1504-ARG1505 e ARG1506. Enquadramento dos filões "alvo" (a vermelho) à superfície.....	58 -
Figura VIII.15 - Polígonos de intersecções entre litologia e valores de concentração de Sn(a) e W(b), no perfil ARG1503. Polígonos de intersecção de Sn(c) e W(d) para as sondagens ARG1504 e ARG1505.	59 -
Figura VIII.16 - Modelo 3D interpretativo da localização de filões "alvo" potencialmente portadores de concentrações significativas de mineralização de estanho e volfrâmio (a vermelho) e figuras <i>voxel</i> (ao longo das sondagens projectadas) de modelação geoquímica das sondagens. O modelo de cor amarela representa os trabalhos de exploração já efectuados e os modelos de cor rosa simbolizam a progressão de veios mineralizados em pacotes. A) O eixo X representa o norte; B) Vista de norte para Sul; C) Vista do modelo de oeste para este.	61 -

Lista de Tabelas

Tabela VI.1 - Classificação dos intervalos de valores anómalos (a verde e amarelo) definidos a partir de teores (W) acima das probabilidades cumulativas.....	37 -
Tabela VI.2 - Valores de threshold obtidos, em ppm. Threshold 1 = Threshold regional; Threshold 2 = Threshold local.	39 -
Tabela VIII.1 - Valores de threshold definidos para os mapas de geoquímica de solos. Threshold 1 = threshold regional; Threshold 2 = threshold local.	54 -
Tabela VIII.2 - Valores de threshold de W/Sn para as sondagens ARG:1503-1504-1505.	57 -

I. INTRODUÇÃO

O sector mineiro de Argozelo está localizado cerca de 20 km a SE de Bragança e está inserido na zona de charneira da megaestrutura designada por antifforma de Chaves-Miranda do Douro, com eixo de orientação geral N120°E. As unidades integradas neste antifforma fazem parte da sequência litológica do Complexo de Mantos Parautóctones (CMP), pertencentes ao Terreno Ibérico, deformada durante a Orogenia Varisca há cerca de 350 milhões de anos.

A complexidade tectónica desta região é bastante elevada, sendo caracterizada por um conjunto de carreamentos que colocam em contacto as unidades Alóctones, Parautóctones, e complexos Ofiolíticos com sequências litológicas da Zona Centro-Ibérica (ZCI) e originam um sistema de cisalhamentos tangenciais de direcção NE-SW. Durante as fases finais do ciclo varisco, no período sin-, tardi- e pós-D3, o antifforma Chaves-Miranda do Douro serviu como eixo para a intrusão de magmas graníticos (Parra, 1991). Estes batólitos providenciaram os metais e temperatura necessários à génese de vários sistemas filonianos mineralizados nestes domínios da ZCI.

O sistema filoniano de Argozelo é constituído por filões quartzosos mineralizados por cassiterite, volframite e scheelite, sulfuretos como a arsenopirite, a pirite e a calcopirite e uma quantidade considerável de apatite. O cortejo filoniano mineralizado principal está enquadrado em formações xisto-grauvacóides de idade silúrico-devónica afectadas por metamorfismo regional de baixo grau na fácies clorítica e manifesta-se segundo direcções NE-SW a N-S com uma inclinação média de 80°, perto da superfície, que atenua até 50°, em profundidade, para Oeste.

Este projecto foi realizado em parceria com a Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM) e compõe o relatório de estágio do trabalho desenvolvido durante os meses de Março de 2018 e Setembro de 2019 para o mestrado de Geologia Económica. Apesar dos trabalhos mineiros e de prospecção realizados nas últimas décadas, são poucos, ou incipientes, os dados relativos à caracterização geoquímica das diferentes fases minerais que ocorrem em Argozelo.

O enquadramento geoestrutural da mineralização permite admitir uma previsibilidade no que toca à progressão da mineralização, o que suscita a possível existência de um elevado potencial, quer na extensão em profundidade e/ou lateral, dos antigos trabalhos mineiros. Pretende-se através deste relatório realizar um estudo geoestatístico que engloba a modelação em 2D e 3D de domínios anómalos de W e Sn, bem como definir elementos traçadores (*pathfinders*) da mineralização, de forma a procurar indicadores que permitam inferir a progressão de domínios mineralizados designados de anómalos. Torna-se então imprescindível conjugar as técnicas geomatemáticas, melhor ajustadas para o caso em estudo (por exemplo a aplicação de anisotropia na krigagem ou a adaptação manual dos parâmetros do semivariograma face aos perfis analisados), com o conhecimento geoestrutural da região e as condicionantes metalogenéticas em jogo, por exemplo, no objectivo de definir os indicadores de prospecção, para a região em estudo, através da procura de relações elementares.

A modelação foi realizada a partir de dados geoquímicos recolhidos de 20 perfis de amostragem de solos (divididos por 6 zonas diferentes na área circundante de Argozelo) realizados pela EDM e 2 malhas realizadas pela empresa Billington, na década de 60, e pelo Instituto Geológico e Mineiro (IGM), na década de 80, perfazendo um total de 505 amostras. O trabalho compreendeu ainda dados geoquímicos provenientes da execução de 8 sanjas (81 amostras), 6 sondagens por parte da EDM (equivalendo a 353 amostras analisadas) e 4 sondagens realizadas pelo Serviço Fomento Mineiro (SFM) totalizando 657 amostras. Todos os dados foram disponibilizados pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro.

A metodologia desenvolvida integrou a sinergia de programas informáticos com uma interpretação de natureza geológica e geoquímica. Utilizando os softwares *Matlab - Mathworks*®, *Microsoft Office Excel*, *ArcGIS - ESRI*®, e *Target - GeoSoft*® (cedido pela EDM), foi possível definir as correlações elementares mais relevantes nesta zona, gerar mapas de concentração elementar para os

elementos principais (W e Sn, entre outros) em duas dimensões, desenvolver perfis de sondagem representados em profundidade na modelação 3D realizada no programa *Target* e delimitar uma área de elevado potencial relativamente à concentração de tungsténio e estanho, propiciando um *follow-up* centrado nesse, informalmente denominado de, sector crítico.

II. Caracterização Geológica do jazigo de Argozelo

1. Enquadramento Geográfico

A jazida estano-volfrâmica em estudo situa-se na vila mineira de Argozelo, pertencente ao concelho de Vimioso do distrito de Bragança, Portugal (Figura II.1). Localiza-se a cerca de 20 km a sudeste da cidade de Bragança, 10 km a sudoeste da fronteira com Espanha e a cerca de 13 km da estrada IP4 que liga a cidade de Bragança a Espanha. A vila de Argozelo está limitada pelos rios Sabor, a oeste, e o rio Maças, a este, ambos com direcção aproximada N-S. A região apresenta uma orografia irregular, mas suave, constituída por serras que chegam a cotas máximas entre os 800 e os 600 metros e as mínimas entre os 200 a 300 metros.



Figura II.1 - Localização geográfica de Argozelo.

2. Enquadramento Geológico

As formações geológicas de Argozelo inserem-se no Complexo de Mantos Parautóctones (CMP) da ZCI, limitando o bordo sul do domínio Peritransmontano, a nordeste do Complexo Ofiolítico de Morais e a sudeste do Maciço de Bragança (Figura I.2). À escala regional, os maciços congêneres de Morais e Bragança são bordejados por unidades alóctones e parautóctones limitadas por uma sutura tectónica de primeira ordem (MTMT – “*Main Trás-os-Montes Thrust*”), que separa a CMP da ZCI. Subjacentes aos complexos ofiolíticos estão unidades pertencentes ao paleo-continente Gondwana, entre as quais, os mantos parautóctones (Ribeiro, 1974). A implantação dos diversos complexos de unidades (Alóctone, superior e inferior, Parautóctone e Ofiolítico) resulta da colisão tectónica durante a orogenia varisca (cerca de 350-270 Ma) com a margem gondwânica.

O CMP está segmentado por acidentes tangenciais, pouco profundos, que evidenciam uma dinâmica activa durante fases de deformação secundárias (locais) em ambiente dúctil-frágil. Muitos

destes acidentes terão nucleado e propagado a partir de acidentes precoces, de uma fase dúctil, em unidades de baixa resistência mecânica ao cisalhamento. O complexo parautoctone foi dividido na última década em dois domínios distintos (Rodrigues, *et al.*, 2006a-2006b), o Parautoctone Inferior, limitado inferiormente por um descolamento tectónico (MTMT) e constituído por escamas imbricadas de cavalgamentos, e o Parautoctone Superior, constituído por dobras desenraizadas com vergência para E (Rodrigues, *et al.*, 2006a-2006b).

Ainda presente nesta sequência de complexos, estão os Terrenos ofiolíticos, dos quais fazem parte os complexos alóctones “Intermédio” e “Superior” que enquadram os maciços de Morais e Bragança instalados no evento de obducção da litosfera oceânica pertencente ao paleo-oceano Tétis, sobre o Complexo Alóctone Inferior (Dias, *et al.*, 2013; Rodrigues, *et al.*, 2006a).

O cortejo filoneano de Argozelo está inserido junto à charneira do antiforma Chaves-Miranda do Douro de atitude N120°E, que integra sequências litológicas do CMP e é controlado por acidentes de direcções e inclinações variáveis, mas no geral dispendo uma orientação quasi-perpendicular ao eixo do antiforma (NNE-SSW a N-S). Este antiforma, gerado presumivelmente durante as fases dúcteis da orogenia varisca, serviu de eixo para mineralizações epigenéticas, relacionadas, genética e espacialmente, com a intrusão de granitos de duas micas, como o caso das minas de Ribeira e Paredes, a oeste de Argozelo (Parra, 1991; Mateus e Noronha, 2010).

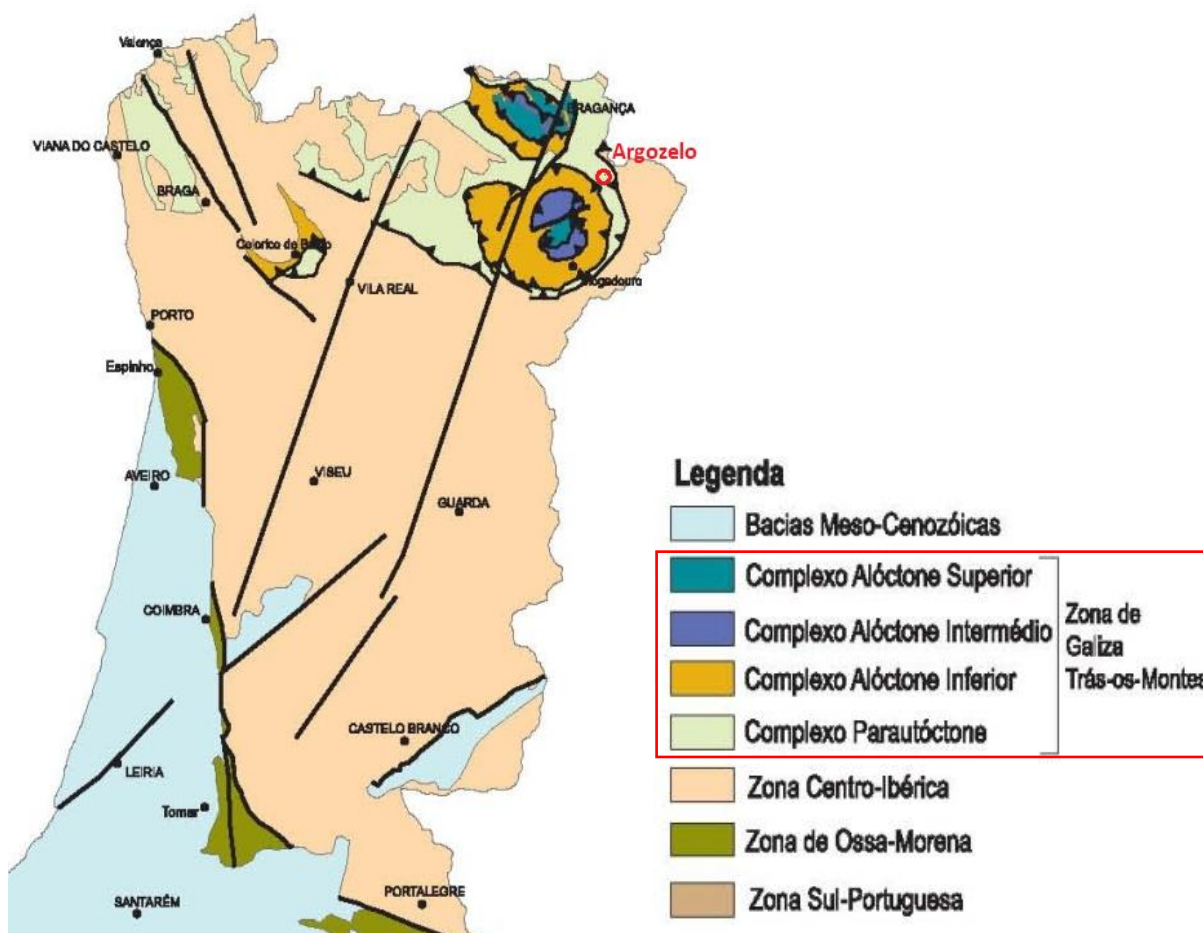


Figura II.2 - Mapa de enquadramento geológico regional de Argozelo (Carta Geológica de Portugal à escala 1:1 000 000, edição 2010, LNEG-LGM, Lisboa).

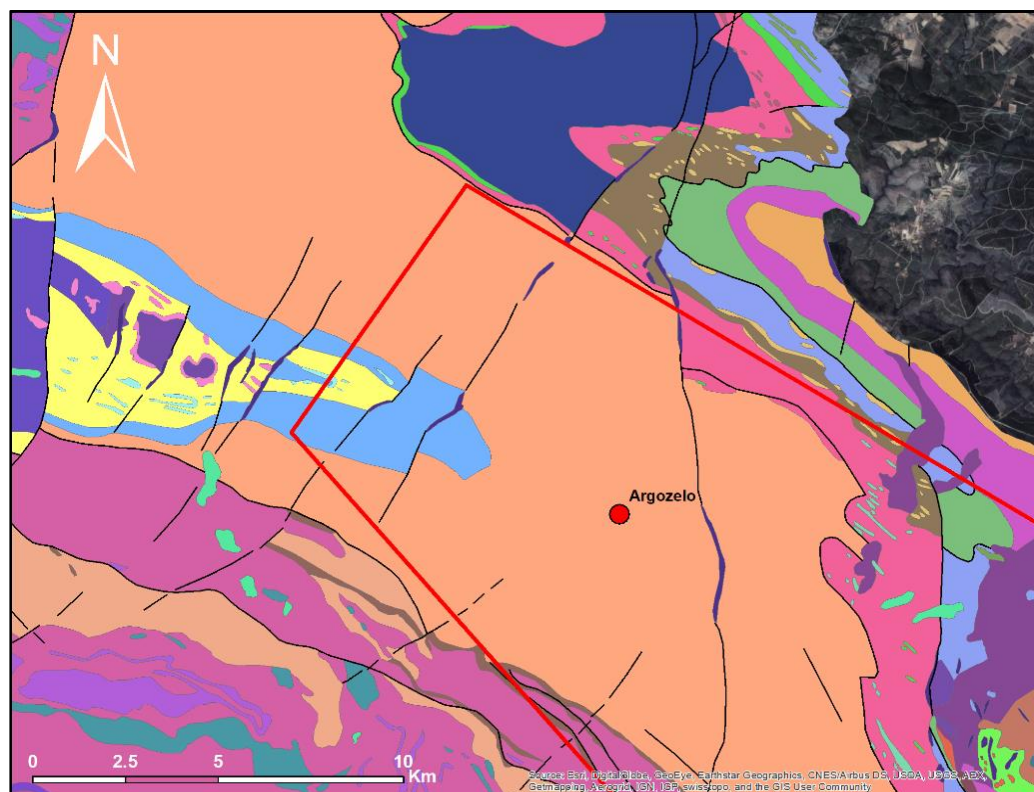
De acordo com as caracterizações de Ribeiro, 1974 e Pereira, 2000 (em Dias, *et al.*, 2013) o domínio Peritransmontano, sob o ponto de vista litológico, é atribuído na totalidade ao Silúrico, sendo

constituído, da base para o topo, pelas formações de: Xistos Inferiores, Grés Quartzítico Inferior, Complexo de Xistos, Grauvaques e Psamitos, Grés Quartzítico Superior e Xistos Superiores.

Pereira (2000) descreveu as unidades de base do CMP designando-as por Formação de Xistos Inferiores, constituída por quartzitos e xistos negros, datadas do Silúrico (Figura II.3).

A Formação Pelito-Grauváquica integra filitos cinzentos com intercalações de xistos negros e uma alternância de metapelitos, metapsamitos e metagrauvaques, bastante distinta da Formação de Quartzitos Superiores sobrejacente, formada essencialmente por quartzitos e quartzofilitos.

A unidade de topo do período Silúrico é descrita como a Formação de Xistos Superiores e é composta por xistos cinzentos siliciosos e carbonosos.



- Formação dos Xistos e Grauvaques Culminantes: alternância de pelitos e siltitos milimétricos e quartzovaques centimétricos a decimétricos
- Formação dos Xistos Superiores: xistos cinzentos siliciosos e carbonosos e siltitos
- Formação de Quartzitos Superiores: quartzitos xistóides e quartzofilitos
- Formação Supraquartzítica: filitos castanhos e xistos hematíticos (borra-de-vinho)
- Granito de Bornes e do Antiforma de Parada – Pombares: granito de grão médio, porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico
- Granito de Bornes e do Antiforma de Parada – Pombares: granito do exocontacto, de duas micas essencialmente moscovítico
- Pliocénico de Trás-os-Montes (Formações de Mirandela e Aveleda): depósitos conglomeráticos de matriz predominantemente lutítica, suportando clastos subangulosos; argilas ilito-cauliníticas
- Filões de Quartzo

Figura II.3 - Mapa geológico regional de Argozelo com litologia das unidades principais aflorantes (adaptado de Pereira, 2000).

A unidade do Devónico é designada por Formação de Xistos e Grauvaques culminantes, onde está inserida a vila de Argozelo e é caracterizada por uma alternância milimétrica de metapelitos, metassiltitos e metaquartzos centimétricos.

É importante referir que as idades e o enraizamento da sucessão parautoctone da ZCI continuam em aberto. A idade Silúrica admitida para a sucessão parautoctone tem vindo a ser questionada por vários autores e foi baseada em escassos indicadores cronológicos (Rodrigues, *et al.*, 2003; Rodriguez, *et al.*, 2004; Valverde-Vaquero, 2005). No NE de Portugal, Rodrigues, *et al.* (2003) admitem a possibilidade de parte do CMP ter idade Ordovícica, enquanto que no NW de Espanha, autores como Rodriguez *et al.* (2004) e Valverde-Vaquero, (2005), estabeleceram, através de análises micropaleontológicas e radiocronológicas, que a sucessão terá idades ordovícicas inferiores e médias. Isto implicaria que determinadas unidades consideradas como parte do CMP, seriam, na prática, alóctones (Rodrigues, *et al.*, 2006a).

Segundo Mateus e Noronha (2001), as litologias da ZCI hospedam numerosos sistemas mineralizantes relacionados com zonas de cisalhamentos meso- a tardi-Variscos e grandes eventos de intrusão de rochas granitóides, *sin-* a tardi-Variscas. O desenvolvimento de processos geológicos profundos foi crucial para a manutenção do elevado regime térmico registado durante a orogenia Varisca, inclusive a génese e instalação de plutões magmáticos de natureza granítica, responsáveis por um evento principal de alta temperatura com pico entre os 340 Ma e os 325 Ma. Os corpos granitóides peraluminosos ($Al > Na+K+Ca$) foram gerados durante um episódio de descompressão quase isotérmica, após os eventos colisionais D₁ e D₂ (387 a 352 Ma) de instalação de terrenos alóctones. A evolução térmica, e condições P-T do sistema, terão implicado uma diminuição da resistência mecânica da crosta e favorecido a deformação gerando estruturas tectónicas dúcteis, durante os períodos de mais elevada temperatura, e estruturas tectónicas frágeis, durante os períodos de mais baixa temperatura.

As intrusões graníticas da ZCI podem ser agrupadas em 4 grupos diferentes, de acordo com a idade e relação com a terceira fase de deformação varisca: granitos sintectónicos de duas micas, fortemente peraluminosos (320 a 310 M.a.); monzogranitos e granodioritos biotíticos moderadamente peraluminosos tarditectónicos (cerca de 310 a 305 M.a.); granitos tardi- a pós-tectónicos englobando leucogranitos peraluminosos de duas micas (300 M.a.); e granitos pós-tectónicos, distinto dos outros, incluindo granitóides sub-alcálicos ferro-potássicos (de 296-290 M.a.), composicionalmente mais evoluídos (Ferreira *et al.* 1987; Pinto *et al.* 1987; Dias, 2001; Azevedo e Aguado, 2006).

A instalação dos maciços graníticos *sin*-D₃ foi controlada pelo campo de tensões D₃, processando-se a nível crustal na transição dúctil-frágil (entre 13 a 14 km de profundidade). O desenvolvimento das estruturas filoneanas subsidiárias reflecte localmente a deformação, expressa na forma de dobramentos e cisalhamentos D₃. Por outro lado, os granitóides tardi- e pós-D₃ formaram plutões com uma raiz localizada acima da transição dúctil-frágil, a profundidades progressivamente inferiores, consoante a sua idade. Estes plutões atingem até 4-5 km de profundidade e é comum a presença de auréolas de metamorfismo associadas a esse plutão. Crê-se que o campo de tensões local, originado pela ascensão granítica superficial, foi responsável pelo desenvolvimento de estruturas secundárias cuja distribuição espacial dependeu da configuração de tensões em volta do corpo maciço e de eventuais estruturas pré-existentes (Ribeiro, 2001; Mateus e Noronha, 2010).

3. Evolução geodinâmica no ciclo varisco

As unidades descritas anteriormente, de idades Silúrico-Devónicas, estão afectadas pela orogenia varisca, que considera três fases de deformação dúcteis/frágeis (D₁, D₂ e D₃, entre 380-290 M.a.). É possível ainda a existência de fases frágeis mais tardias, cronologicamente distintas ou não, relacionadas com a instalação de corpos granitóides (granitos de duas micas) *sin-* a tardi-D₃ (Parra, 1991). Os plutões produziram auréolas de metamorfismo e redes intrincadas de fracturas. É estabelecido inicialmente que este último estágio, tardivarisco, frágil, foi responsável pela formação de estruturas de movimento transcorrente (ou cisalhamentos) com direcções NW-SE, sucessivamente reactivadas que

permitiram a circulação de fluidos (Mateus e Noronha, 2010) e, possivelmente, de composições parentais diferentes.

De uma forma geral, a primeira fase de deformação da orogenia varisca, D1 (aproximadamente a 380 M.a.), caracteriza a foliação S1 das rochas metassedimentares, resultante do metamorfismo regional de baixa temperatura durante os estádios de compressão mais precoces. As estruturas de D1 manifestaram-se sobre a forma de dobras com eixos de orientação e inclinação variável, próximas de NW-SE e sub-verticais.

A segunda fase de deformação varisca, D2, consistiu na instalação dos mantos de carreamento na zona de sutura principal transmontana (MTMT) introduzindo nas rochas uma deformação interna e um *fabric* (S2 – sub-horizontal) que sobrepueram as mais precoces (S1 e anteriores). Esta fase deu origem a estruturas secundárias de deformação frágil-dúctil com diferentes distribuições espaciais susceptíveis a regimes tectónicos de transpressão, cisalhamento puro e compressão pura. Durante a mesma fase de deformação, originaram-se cavalgamentos de baixo ângulo, e extensões quilométricas, que laminaram estruturas mais precoces, por vezes flancos inversos de estruturas D1. Ambas as fases de deformação, D1 e D2, são estádios bastante complexos de deformação onde se distinguem sub-fases distintas da deformação progressiva (Dias, *et al.*, 2013; Rodrigues, *et al.*, 2006a)

Os últimos estádios de deformação avançados da colisão estão incorporados nas fases tardi-Variscas, D3 e D4 frágil, que ocorreram após a instalação dos mantos ofiolíticos sobre a ZCI. A idade destas fases é identificada pela instalação de corpos granitóides sin a tardi tectónicos, com cerca de 300 M.a, gerados durante um período de descompressão isotérmica do orógeno, responsável pelo desenvolvimento de processos de anatexia (Mateus e Noronha, 2010). Nesta altura, o movimento tangencial cessou devido ao encurtamento máximo e a deformação prosseguiu através de cisalhamentos dúcteis intracontinentais paralelos à sutura de colisão, isto é, NW-SE a NNW-SSE. É através desses cisalhamentos que se instalam numerosos maciços granitóides na ZCI, sin a tardi-D3. Para além disso, estruturas precoces D1 são reactivadas com movimentos direitos e desenvolvem pares conjugados com movimentos esquerdos, de orientação E-W a ENE-WSW (Pereira, *et al.*, 1993). A fase D3 produziu também dobramentos de baixa amplitude, com eixo de direcção WNW-ESSE, , como é o caso do antiforma Chaves-Miranda do Douro, apresentando lineações de estiramento com diferentes orientações formadas durante as fases de deformação D2 e D3. As lineações sub-verticais apontam para um regime de deformação com estiramento segundo o eixo cinemático *a* (Figura II.4), que passa a um estiramento segundo o eixo cinemático *b*, desenvolvendo lineações sub-horizontais, próximo da zona de maior curvatura do Arco Ibero-Armoricano (AIA). Isto significa que ao longo das charneiras ocorreu uma acomodação de deformação heterogénea, passando de estiramento sobre o eixo cinemático *b*, com cisalhamento simples nas zonas laterais dos maciços ofiolíticos, para um regime de achatamento, com estiramento sobre o eixo cinemático *a*, perto do ápice dos mesmos (Figura II.5), onde a difícil acomodação de material contribui para um eventual desenvolvimento de uma componente de tensão máxima (σ_3) sub-vertical (Pereira, *et al.*, 1993; e Dias, *et al.*, 2013). Estes dobramentos estão

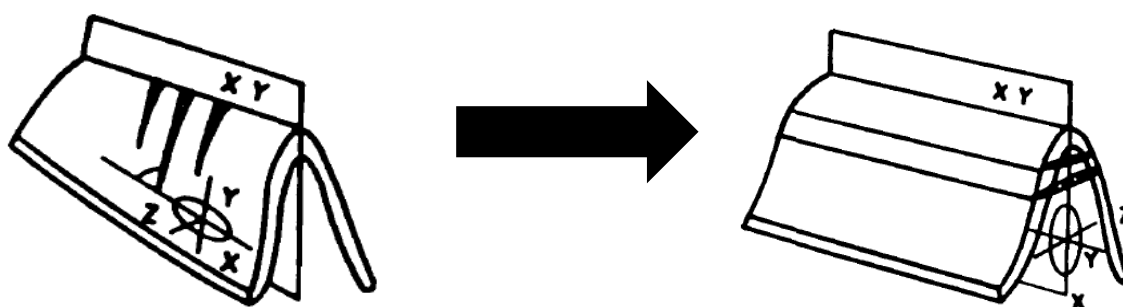


Figura II.4 - Esquema interpretativo demonstrando a transição da direcção principal de estiramento sobre o eixo cinemático *b* (esquerda) para o eixo cinemático *a* (direita). Adaptado de Rodrigues, J. F. et al., 2006a.

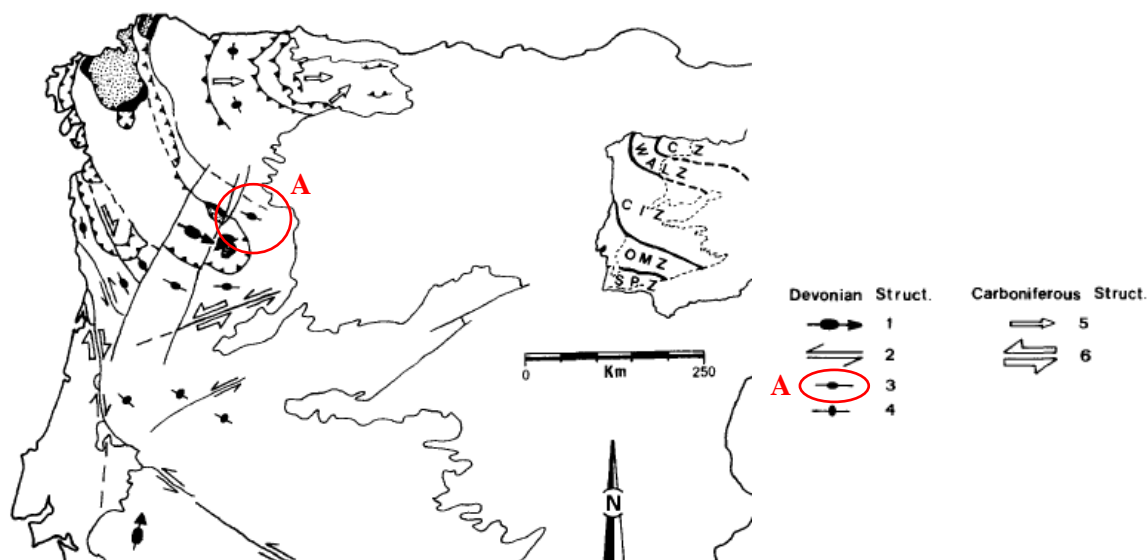


Figura II.5 - Estruturas principais formadas durante a orogenia Varisca na Zona Centro-Ibérica. A (vermelho) = estiramento em b (adaptado de Dias e Ribeiro, 1994).

acompanhados de clivagem de crenulação (S3) de eixo com uma orientação paralela aos planos axiais das dobras D3 e mergulho sub-vertical (Dallmeyer e Garcia, 2012).

Os bordos dos maciços “sin-D3” marcam zonas de debilidade termo-mecânica favoráveis para o desenvolvimento de corredores de cisalhamento dúcteis a semi-frágeis, que por sua vez representam zonas de fragilidade crucias para a nucleação da rede de desligamentos mais tardios (Mateus, 1995, em Mateus e Noronha, 2010). A distribuição geométrica das diferentes estruturas originadas durante o período meso a tardi-Varisco (incluindo os dobramentos D3) permitem inferir um campo de tensões regional com uma componente de compressão máxima (σ_1) sub-horizontal e de direcção ENE-WSW a NE-SW. A última revela-se como sendo a direcção preferencial da distribuição de diversos filões quartzosos e aplito-pegmatíticos reconhecidos em diferentes regiões da ZCI, o que indica uma componente de compressão mínima (σ_3) pertencente ao campo de tensões da mesma idade. Assim, o desenvolvimento de filões de direcção N-S a NW-SE deve-se a configurações locais de tensão (Mateus e Noronha, 2001).

A presença de (proto-) milonitos, ultracataclasitos, brechas e precipitados hidrotermais polifásicos revela a importância que as discontinuidades tectónicas desempenharam no escoamento focalizado de fluidos crustais, muitas vezes metalíferos, durante os estádios finais do ciclo Varisco. Para além disso, pressupõe-se que durante esta fase de deformação, juntamente com o aumento de permeabilidade das rochas derivada da intensidade de fracturação, diversas foram as fontes de fluido metalífero que deram origem aos precipitados hidrotermais que constituem os cortejos filonéanos na ZCI (Mateus, 1995; Marques, 2002 em Mateus e Noronha, 2010).

As mineralizações da região de Argozelo ocorrem em estruturas filonianas quartzosos que se desenvolveram predominantemente com orientação N-S, NNE-SSW, e inclinando para W, mas também ocorrem em estruturas de orientação NW-SE. Os filões compreendem principalmente minerais sulfuretados de Fe, As, Cu e Bi, minerais de Sn (sob a forma de cassiterite) e minerais de W (sob a forma de scheelite e volframite).

O evento de mineralização principal está relacionado com a terceira fase de deformação (D₃). No entanto, durante a observação de sondagens da EDM foi possível distinguir mais de 4 eventos distintos de deformação, diacrónicos e que se caracterizam tanto através das suas características físicas (dimensão e orientação relativa), como as suas composições químicas e relações de corte entre si.

Em Ribeira e Paredes ocorrem sistemas filonianos mineralizados possivelmente congêneres ao de Argozelo, mas onde se verifica a existência de plutões graníticos, localmente greisenizados. Visto

que esses se encontram demasiado afastados do cortejo filoniano de Argozelo (a mais de 8 km), Décio Thadeu (1954) admite que a mineralização nesse local se assemelha com os casos anteriores e que existirá uma intrusão granítica a maiores profundidades. Em 1983 investigadores da Universidade de Nanci (Adam, 1983a, 1983b; Sterpin, 1983) levantaram a hipótese de que os filões de orientações NE-SW a N-S poderiam fazer parte de uma estrutura em “cone sheet”, dada à variação da inclinação dos filões em profundidade, e que, nesse caso, o plutão estaria localizado a oeste das minas de Argozelo, a profundidades ainda não conhecidas. Admitindo esta hipótese, seria possível considerar a presença de estruturas filonianas simétricas às de Argozelo, também a oeste das minas. Por outro lado, no decorrer do estudo tectónico do jazigo de Argozelo, efectuado pela empresa francesa *Géomines*, determinou-se que o sistema filoniano seria muito mais extenso do que o que se pensava.

III. Mineralizações estano-volframíticas

1. Formação de jazigos

Grande parte dos depósitos estano-volframíticos estão espacialmente associados com rochas graníticas que originam veios mineralizados com teores de $\text{Sn} > \text{W}$ ou $\text{W} > \text{Sn}$, constituindo minerais da série da volframite (ferberite a hubnerite), scheelite e cassiterite. Esta tipologia de depósitos consiste habitualmente em vários episódios de mineralizações em sistemas de fracturas simples ou sistemas mais complexos (ex: veios anastomosados) frequentemente desenvolvidos contemporaneamente à instalação e cristalização de um maciço granítico (Figura III.1). As espécies minerais de Sn e W são tipicamente formadas durante as fases de óxido-silicato mais precoces da paragénese metalífera (Neiva, 2008; British Geological Survey, 2011; Elliot *et al.*, 1995).

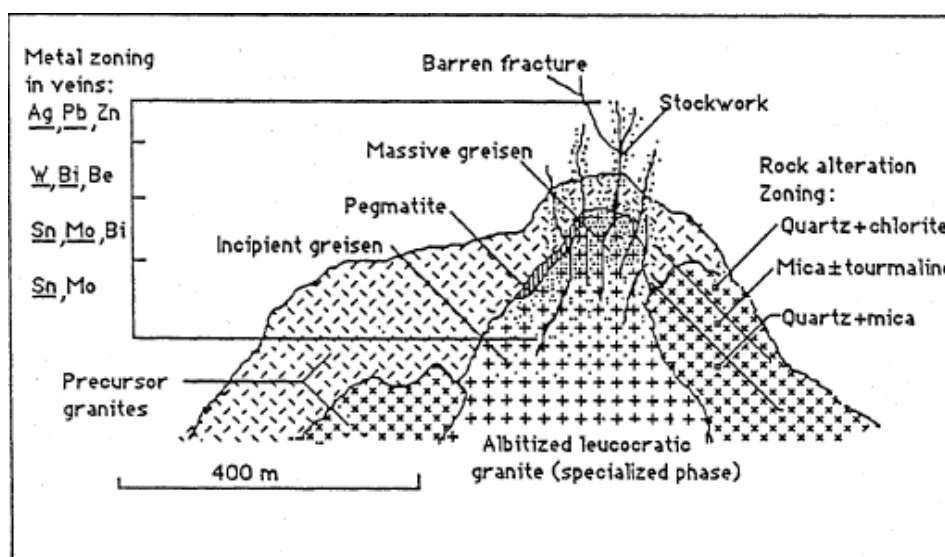


Figura III.1 – Esquema interpretativo de um depósito estano-volframítico, Reed, 1986.

Os veios de quartzo mineralizado com $\text{Sn} > \text{W}$ ou $\text{W} > \text{Sn}$ estão principalmente associados com granitos do tipo-S (que, no caso de mineralizações na ZCI são tipicamente reduzidos), resultantes da fusão parcial de rochas metassedimentares. As diferenças químicas na fonte, originadas por exemplo por diferenciação magmática e cristalização fraccionada, são responsáveis pela génese de fluidos mineralizantes de composições distintas deixando uma assinatura geoquímica nas cassiterites. Assim, segundo Neiva (2008) as composições químicas das cassiterites e da salbanda micácea podem ser utilizadas para distinguir os tipos de depósito.

Depósitos aplito-pegmatíticos portadores de mineralizações tungstíferas incluem enriquecimentos em elementos como o Li, Be, Nb, Ta, Sn e Cs (pegmatitos tipo LCT). Os principais produtos originados neste tipo de depósitos podem ser a volframite, columbite-tantalite, cassiterite e espodumena (Gaspar, 1997, Tkachev, 2011).

2. Tipos de alteração

Conhecer os tipos de alteração na rocha resultantes da formação de jazigos metalíferos afigura-se essencial para qualquer tipo de trabalho de pesquisa e prospecção mineral, constituindo uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de técnicas especificamente orientadas para uma pesquisa direccionada à região em estudo. Conhecer os tipos de alteração é igualmente fundamental para a correcta interpretação de dados analíticos multielementares pois permitem perceber que a sobreposição espacial de séries de elementos químicos pode implicar a ocorrência de diversos episódios geológicos.

Os tipos de alteração característicos para este tipo de jazigo são a greisenização (presente nos jazigos da Ribeira e Paredes), um tipo de alteração filítica do granito originando uma paragénese mineral

de quartzo, moscovite (e possivelmente outras micas potássicas), topázio, fluorite e turmalina (na zona de contacto entre o maciço e a rocha encaixante, caso essa seja de natureza metassedimentar) e a albitização. A presença de zonas de alteração argilítica, silicificação, alteração potássica, cloritização e hematitização também poderá ocorrer localmente neste tipo de depósitos.

As mineralizações de cassiterite e volframite em granitos estão normalmente associadas às zonas de alteração filítica, com baixos teores e disseminadas em greisens, brechas ou veios. A alteração está confinada em salbandas resultantes da substituição de feldspatos para micas (Eadington, 1983; Solomon, *et al.*, 1986).

3. Mecanismos de transporte de W

Para ser possível caracterizar os mecanismos que concorrem para a formação e desenvolvimento de jazigos, é necessário identificar os factores que se afiguram mais importantes para a caracterização da fonte desse metal e de que forma esse metal foi transportado até ao local de deposição. Até hoje não se conhece nenhum modelo rigoroso para os mecanismos que conduzem à geração de fluidos ricos em tungsténio ou estanho, ou em relação ao seu transporte. Porém, para fluidos e certos metais (neste caso, tungsténio e estanho) de origem magmática sabe-se que os granitos regionais, que são a fonte dos metais, exibem normalmente uma especialização metalogenética característica.

A energia, tempo e características químicas do reservatório são alguns dos principais factores naturais que concorrem para a concentração de metais no fluido mineralizante. Entre eles estão vários processos interligados como: (i) a fonte (granitos \pm metassedimentos), que pode conter uma natureza diversa e dimensões (variadas), desde dezenas de quilómetros a dezenas de milhares, por exemplo; (ii) a solubilidade e transporte dos metais no fluido, que tenham em linha de conta propriedades químicas do fluido e termo-mecânicas do encaixante bem como a evolução tectono-térmica da região; e (iii) a deposição de metais, que dependem de factores como a focalização da descarga, decréscimo da temperatura, percurso de reacção do fluido em função das características litológicas, estruturais e estratigráficas.

O processo mais importante que controla a concentração de metais, durante a cristalização magmática é a sua solubilidade no magma que, por sua vez, é função de variáveis extensivas e intensivas do sistema termodinâmico como a pressão, a temperatura e a composição química (Gaspar, 1997, Stempok, 1990). Não obstante, elementos de elevado potencial iónico (HFSE – *High Field Strength Elements*), e.g. tungsténio, possuem uma afinidade elevada com o oxigénio e a sua solubilidade no magma diminui quanto maior for o grau de polimerização. Para além disso, o tungsténio é um elemento incompatível com os minerais que cristalizam em fases precoces levando à progressiva concentração em *melts* residuais, consoante a diferenciação magmática (London, 1995).

O W encontra-se nos magmas em coordenação octaédrica com o oxigénio que, possivelmente, está co-polimerizado com componentes polianiónicos aluminossilicatados. Sendo assim, o grau de polimerização e a fugacidade de oxigénio controlam a solubilidade do W no magma (Gaspar, 1997).

A presença de voláteis OH, F, Cl, B, P constituem aniões que concorrem com os oxigénios na ligação com outros catiões, levando à geração de complexos e contribuindo para a despolimerização do magma (Burnham, 1967) e consequente aumento da solubilidade de W, levando à sua sucessiva concentração em fases residuais do *melt*.

Dados experimentais sobre a solubilidade do tungsténio em solução têm servido de base para os inúmeros complexos propostos por autores. Existe, por isso, uma grande variedade de complexos transportadores de W, desde complexos cloretados, carbonatados a uma forte contribuição por halogenetos e complexos fluoretados. Por exemplo, em jazigos do tipo skarn, o W pode ser transportado sob a forma de fluoreto, que concorre para associação scheelite-volframite (Coelho, 1993).

O aumento da actividade do cálcio, por interacção entre o fluido hidrotermal e níveis calcossilicatados, pode ser responsável pela destabilização de complexos que transportam W levando à consequente precipitação de scheelite.

4. Mecanismos de transporte de Sn

O estanho ocorre predominantemente em dois estados de valência, $\text{Sn}_{(\text{II})}$ e $\text{Sn}_{(\text{IV})}$. O primeiro forma complexos maioritariamente em sistemas hidrotermais profundos perante amplas condições P-T-X (Taylor, *et al.*, 1984; Pabalan, 1986; Taylor, 1988). Em contrapartida, o $\text{Sn}_{(\text{IV})}$ forma a principal fase mineral portadora de estanho, a cassiterite, bem como alguns complexos aquosos e, segundo Taylor (1988) e Heinrich, (1990) corresponde ao estado de oxidação dominante do estanho em *melts* graníticos.

Os complexos de $\text{Sn}_{(\text{II})}$ -Cl predominam sob condições reduzidas a moderadamente oxidadas e em concentrações mais elevadas a temperaturas que rondam os 320°C. Os complexos $\text{Sn}_{(\text{IV})}$ -Cl-OH tornam-se relativamente mais importantes com a redução da temperatura do sistema e com o aumento da fugacidade do oxigénio, mas não promovem uma maior solubilidade da cassiterite exceptuando em soluções com pH mais baixo (Heinrich, 1990).

Em soluções de vapor de água, com HCl e temperaturas compreendidas entre os 300°C a 350°C e pressões até 180 bar, as concentrações de estanho variam entre 0.1 a 0.32 ppb, atingindo o máximo aos 320°C. Em sistemas bi-fásicos, com alta salinidade, onde a quantidade de cloro não depende da fugacidade de HCl mas do conteúdo em NaCl, as concentrações de estanho na fase de vapor são mais apreciáveis (Neiva, 2006).

Em depósitos hidrotermais, o transporte de uma fonte granítica quente para um ambiente deposicional a menores temperaturas envolve, por vezes, focalização estrutural e evita um reequilíbrio químico total do fluido hidrotermal no contacto com a rocha quartzo-feldspática fria. Nestas condições, um fluido de pH baixo e reduzido poderá transportar elevadas concentrações de complexos Sn-Cl (Heinrich, 1990).

A precipitação de cassiterite requer, necessariamente, a oxidação do sistema, e gera uma diminuição de pH, envolvendo outros componentes como a rocha encaixante.

IV. Recolha de informação geoquímica e de amostras de sondagem

Um dos primeiros passos consistiu na elaboração de uma base de dados extensa e organizada que serviu de suporte para todos os passos abordados no relatório. Esta base de dados contou com informação recolhida das empresas Billington, Instituto Geológico e Mineiro (IGM) e Serviço Fomento Mineiro (SFM) que entre as décadas de 1960 e 1980 realizaram amostragens em solos e campanhas de sondagem (realizado pela SFM). Para além disso, a base de dados contou principalmente com a informação recolhida de dados geoquímicos obtidos pela EDM.

Os dados da Billington e SFM contam apenas com informação sobre a concentração dos elementos Sn e W, em amostras de solos e sondagens, respectivamente. No caso da IGM, a quantidade de elementos analisados foi superior, no entanto não inclui o Sn.

A EDM desenvolveu inúmeros trabalhos durante o contrato de prospecção e pesquisa do sector mineiro de Argozelo que teve início no mês de Dezembro de 2011 e término em Dezembro de 2016, estabelecendo um período de duração total de 5 anos. Os trabalhos de levantamento de informação geológica realizados pela EDM consistiram principalmente em campanhas de geofísica, análises de geoquímica de rocha total em amostras de solos, sanjas e testemunhos de sondagens realizadas.

1. Sanjas

No ano de 2015 foram obtidos resultados a partir de um total de 6 sanjas realizadas a norte e sul da mina de Argozelo (Figura IV.1), segundo direcções E-W e extensões entre dezenas e centenas de metros (anexo 1), pretendendo estudar o prolongamento dos filões. Na maior parte dos casos registou-se a ocorrência de estruturas NE mineralizadas, compatíveis com a tectónica regional, sem ser conhecido o seu comportamento em profundidade. Para além destas, foram realizadas ainda duas sanjas a oeste das minas de Argozelo, realizadas sobre regiões onde se esperariam observar brechas de falha, mencionados em relatórios realizados pela empresa *Billington*, que realizou campanhas de amostragem de solos em Argozelo na década de 1960.



Figura IV.1 - Trabalhos de escavação de trincheiras realizados pela EDM.

2. Solos

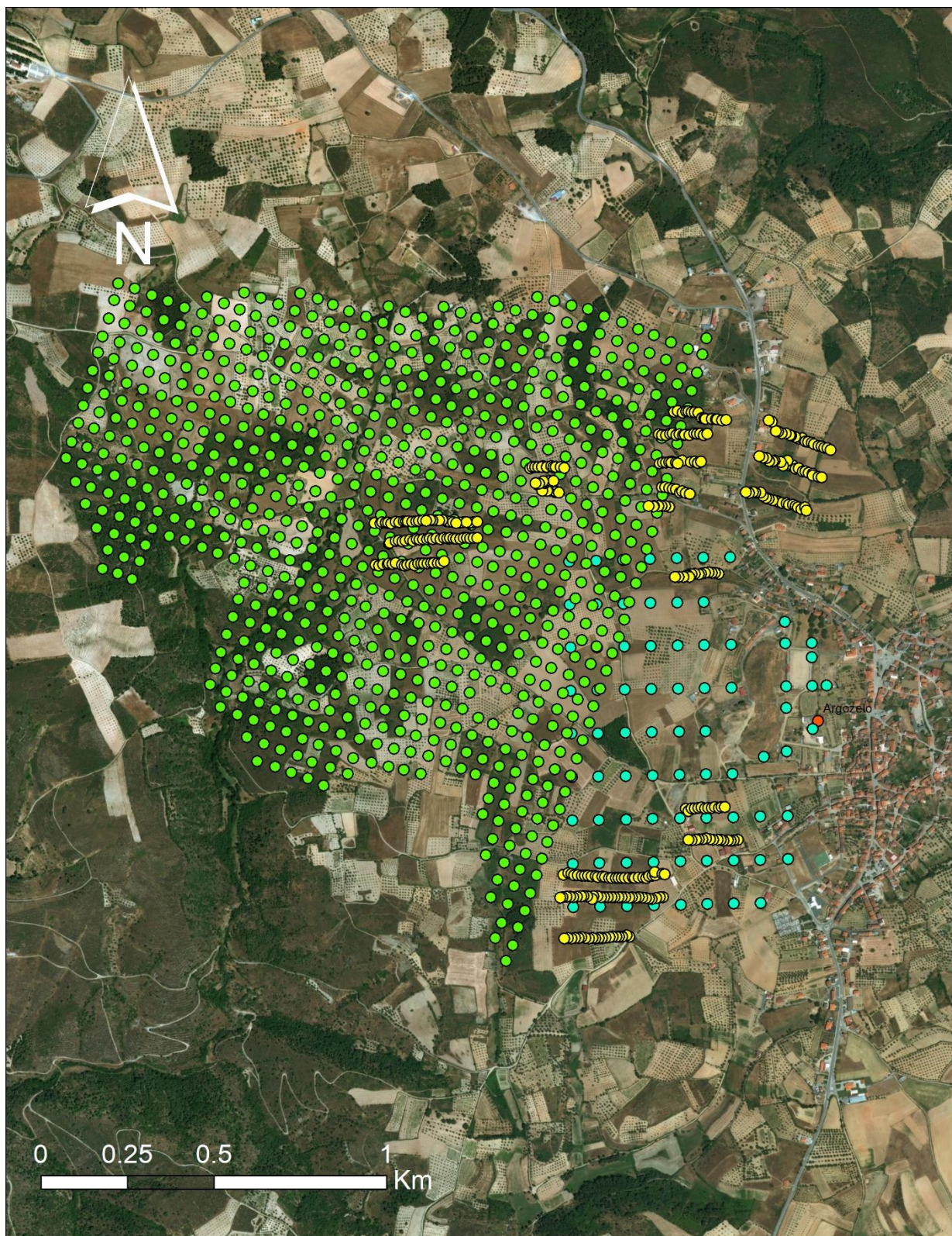


Figura IV.2 - Localização dos perfis de amostras de solos (EDM – amarelo; Billington – verde; IGM – azul).

Depois do período inicial de 3 anos de contracto de prospecção e pesquisa, a EDM procedeu à 1ª prorrogação do mesmo e redução da área de prospecção e pesquisa da concessão de Argozelo em 50%.

No seguimento dos primeiros estudos e levantamentos geológicos regionais, no 2º semestre de 2014, foram iniciadas campanhas de amostragem de solos com o objectivo de mapear as distribuições espaciais dos valores de concentração multielementar, de forma a delimitar a mineralização e facilitar trabalhos posteriores.

Foram colhidas 505 amostras, com peso médio de 500 gramas, repartidas por 348 pontos em Argozelo que distam, em média, 10 m entre si, ao longo de 20 perfis com comprimentos variáveis (separados 20 a 140 metros entre si) e 2 malhas de amostragem mais antigas (Figura IV.2). As amostras foram colhidas a profundidades entre 10 e 60 cm, na interface de alteração da rocha mãe salvaguardando assim a possível contaminação antrópica dos solos e reportando mais fidedignamente a assinatura geoquímica do ponto amostrado em rocha sã. As análises químicas de solos foram requeridas ao laboratório *ALS minerals* em Sevilha, tendo sido seleccionados os pacotes analíticos W, Sn-MS85 + ME-MS61L.

Com a elaboração deste levantamento pretendia-se verificar o prolongamento das estruturas mineralizadas principais, e potencialmente identificar estruturas paralelas, com orientações entre N-S a NE-SW, nos prolongamentos norte e sul da zona filoneana de Argozelo e a oeste da mesma. É importante mencionar que este levantamento, tal como a campanha de amostragem realizada pela *Billington*, foram definidas na presunção de que o modelo metalogenético deste jazigo (até hoje não definido) estaria enquadrado com uma estrutura do tipo “*cone sheet*” (Sterpin, 1983). Para o reconhecimento da progressão de filões mineralizados, a EDM optou por definir perfis com orientação perpendicular aos filões mineralizados, a Norte, Sul e Oeste de Argozelo. Esta opção, apesar de se provar uma técnica simples, eficaz e suficiente para confirmar a intersecção de filões, comprovando o seu prolongamento demonstrou-se algo insuficiente para poder contribuir, de forma rigorosa e precisa, no estudo da modelação e distribuição de anomalias geoquímicas na região de Argozelo.

3. Levantamentos geofísicos

Os trabalhos do Serviço Fomento Mineiro (SFM) dos anos 80 identificaram recursos possíveis de 600 000 toneladas de minério de tungsténio e estanho na mina de Argozelo, localizadas nos pisos 6, 7 e num possível piso 8. Actualmente seria economicamente inviável desenvolver infra-estruturas mineiras para explorar esta zona. No entanto, a identificação de mineralização perto da superfície poderá alterar este cenário. Assim, no decorrer do segundo semestre de 2015 a EDM, juntamente com o ICTE (Instituto de Ciências da Terra e do Espaço) da FCUL realizaram campanhas de levantamentos de dados geofísicos (dados de resistividade usando os dispositivos de Schlumberger e Polo-Dipolo). Os trabalhos investigaram o possível prolongamento dos filões para norte da mina de Argozelo numa extensão aproximada de 500 metros e, para sul, numa extensão de cerca de 200 metros. Para este efeito, foram realizados 2 perfis a norte e 2 a sul, perpendiculares aos corpos filoneanos (Figura IV.3). Este levantamento foi uma tentativa de identificar as estruturas filoneanas quartzosas mais resistivas (apesar de conterem sulfuretos, apresentam uma distribuição disseminada, o que não permite a condutividade da corrente eléctrica) em relação ao encaixante xistento envolvente.

O comprimento médio dos perfis geofísicos foi de 200 metros e distâncias dipolares de 2.5 metros, atingindo profundidades até algumas dezenas de metros (Figura IV.4).

Conclui-se com este levantamento que as estruturas resistivas estão no alinhamento dos filões de quartzo ou coincidem mesmo com eles, contrastando com a rocha encaixante de natureza xistenta que apresenta resistividades mais baixas.



Figura IV.3 - Localização dos perfis geofísicos.

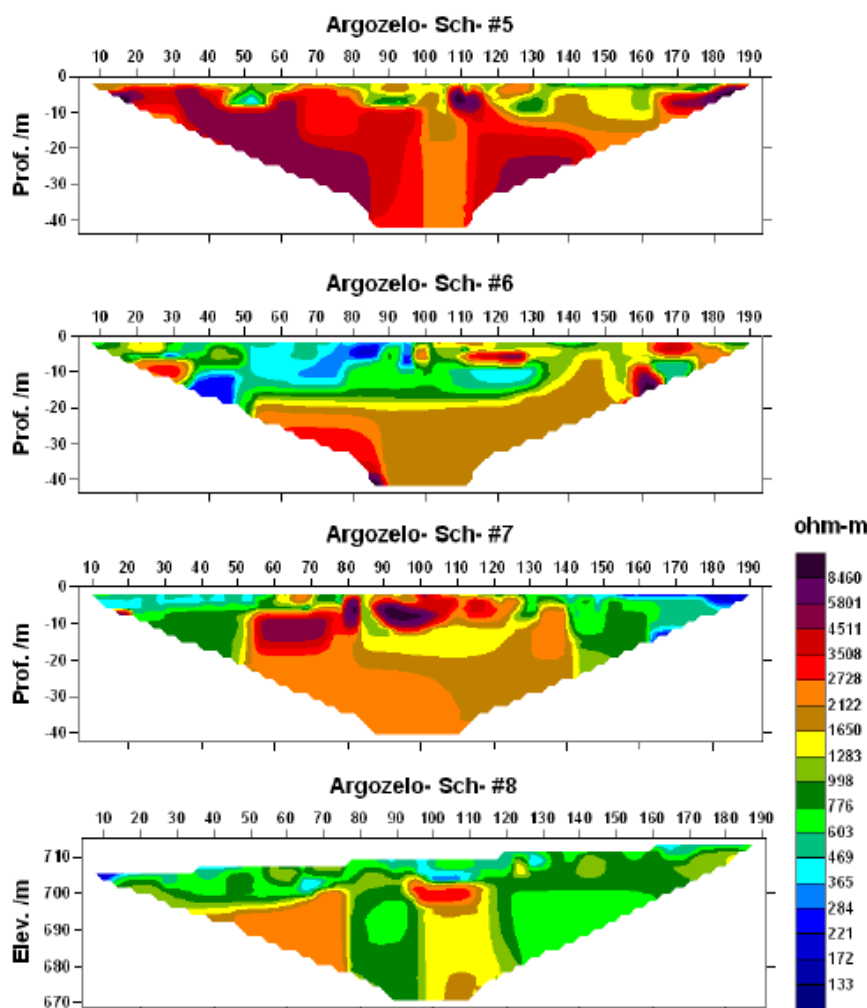


Figura IV.4 - Perfis de levantamentos geofísicos de resistividade

4. Sondagens

Os resultados obtidos nos levantamentos geofísicos demonstraram grandes variações de resistividades dos filões de quartzo mineralizados, excepto nos casos onde a densidade de filões é bastante elevada. Desta forma fez-se a reinterpretação dos perfis com base nos dados geoquímicos e estruturais observados nas sondagens realizadas em 2015.

A conjugação dos resultados de levantamentos geológicos, geoquímica de solos e de rocha efectuados em sanjas e levantamentos geofísicos levaram à decisão de se realizarem seis sondagens mecânicas para investigar a ocorrência, em profundidade, das estruturas mineralizadas (Figura IV.5). Três foram realizadas na extensão norte do enxame filoniano de Argozelo (sondagens ARG1504, ARG1505 e ARG1506), duas na extensão sul do jazigo de Argozelo (sondagens ARG1501 e ARG1502) e uma na zona central da antiga mina de Argozelo (sondagens ARG1503). Estas decorreram durante o segundo semestre do ano 2015.

A. Descrição das sondagens observadas na caroteca de Argozelo

A descrição de testemunhos de sondagem realizadas no âmbito deste trabalho, permitiu verificar um encaixante predominantemente de xisto com tonalidades que variam de cinza escuro a intermédio, preenchido por diversas famílias de fracturas de espessuras variadas (de milímetros a alguns centímetros



Figura IV.5 - Localização das sondagens realizadas pela EDM (rosa) e SFM (amarelo).

de espessura). O xisto divide-se por níveis mais pelíticos e níveis de quartzo de exsudação e quartzovaques ou grauvaques com sulfuretos disseminados, junto das zonas fracturadas.

Os dados antigos recolhidos pela EDM demonstraram que no piso 6 das antigas galerias, a 575 metros de profundidade, atingem-se valores de teores máximos superiores a 61 000 ppm de Sn. No piso

7, a 545 metros de profundidade, os teores máximos para W ultrapassam os 42 000 ppm. Conjuntamente, sabe-se que ao longo do piso 6 os teores médios de W e Sn são de 1667 ppm e 2837 ppm, respectivamente, e ao longo do piso 7 o teor médio de W é de 1694 ppm e o de Sn é de 2673 ppm.

I. ARG1501

Esta sondagem atingiu os 222,8 metros e foi projectada para interceptar o prolongamento das estruturas mineralizadas a 125 metros para sul do fim dos trabalhos mineiros de Argozelo. É comum, em praticamente toda a sondagem, a presença de fracturas discretas preenchidas por quartzo e rara pirite. A partir destas fracturas, os xistos apresentam uma alteração clorítica e sericítica, esta última especialmente em volta dos níveis de quartzo de exsudação. Estas fracturas tendem a coalescer, originando zonas de brecha com presença de quartzo, clorite, pirite, feldspato e fluorite.

Os veios que contêm minerais de arsenopirite, esfalerite, pirite, volframite e scheelite, são tipicamente bordejados por salbandas micáceas variáveis formadas nos contactos com a rocha encaixante.

II. ARG1502

A sondagem atingiu os 194,75 metros e pretendia investigar a continuidade da mineralização cerca de 20 metros para sul do fim dos trabalhos mineiros de Argozelo.

A abundância de veios de quartzo é superior em relação à sondagem anterior (ARG1501) e aqueles que contêm mineralizações de Sn-W apresentam maiores possanças (entre 1 a 5 centímetros) situando-se nos intervalos entre os 71 metros a 75 metros e dos 85 metros aos 86,5 metros. Alguns veios, de dimensões inferiores a 2 centímetros, albergam paragénese de quartzo, scheelite, clorite, sericite, carbonatos e sulfuretos metálicos como a pirite, arsenopirite e a esfalerite.

III. ARG1503

Esta sondagem atingiu os 351 metros de profundidade e foi projectada no sector central dos trabalhos mineiros em Argozelo, de modo a interceptar as zonas do piso 6 com valores mais elevados de Sn e W. Até aos 45,43 metros, a sondagem interceptou xisto com intercalações de níveis de quartzovaque, sugerindo que estas unidades são de idade Devónica.

Intersectou ainda estruturas mineralizadas desde a superfície até ao fim do furo, aumentando consideravelmente a abundância de filões no sector centro-norte, e a maiores profundidades relativamente ao que estava reconhecido em Argozelo.

IV. ARG1504

Esta sondagem atingiu os 251,5 metros e foi projectada para investigar a continuidade da mineralização 50 metros a norte da região mineira de Argozelo, esperando atingir 3 filões alvo. A sondagem interceptou as fácies do Devónico e, subjacentes a estas, fácies do Silúrico.

Os primeiros veios, discordantes de S0/S1, mineralizados com Sn e W foram intersectados aos 50 metros de profundidade. Estes são compostos maioritariamente por cassiterite, sulfuretos como a arsenopirite, esfalerite, calcopirite e pirite, mas também por volframite, scheelite, clorite e moscovite (em salbanda).

V. ARG1505

Esta sondagem foi projectada a partir do mesmo ponto da sondagem anterior (ARG1504), mas com uma menor inclinação, atingindo os 285,05 metros de profundidade. As formações de idade Devónica são intersectadas até aos 68,83 metros. Os feixes principais de filões mineralizados, intersectados pela sondagem ARG1504, a diferentes profundidades, são também intersectados nesta sondagem.

VI. ARG1506

Atingindo os 261,55 metros, esta sondagem foi localizada cerca de 170 metros a norte do fim dos trabalhos mineiros, onde estruturas mineralizadas foram detectada por tendências geoquímicas de amostras de solos e levantamentos de sanjas, assim como levantamentos geoelectricos/resistividade. Tal como as sondagens anteriores, aqui foram intersectados 4 feixes de veios mineralizados, perto da

superfície entre 30-60 metros, e intermitentes ao longo da sondagem até cerca de 240-260 metros. Acredita-se que estes serão parageneticamente congêneres aos feixes observados em ARG1504 e ARG1505.

Os filões intersectados junto do final de sondagem sugerem a sua progressão para além da profundidade máxima atingida no furo. Estes filões têm espessuras muito pequenas e ocorrem com algum espaçamento, denotando um possível afastamento da zona mineralizada principal de Argozelo, ou em alternativa, que se tenha intersectado uma zona de “*bottlenecking*” estrutural, onde não ocorreu a coalescência de um número suficientemente elevado de microfracturas para a injeção de fluidos mineralizados.

B. Métodos Analíticos

1. Sanjas

As 81 amostras de rocha total recolhidas nas sanjas foram submetidas a métodos de preparação para posterior digestão ácida e análise usando o pacote analítico de “*Fire Assay*” por absorção atómica para análise química de ouro, ou especificamente orientada para a pesquisa de metais pesados como o estanho e o volfrâmio, e espectrometria de fluorescência de raios-X orientada para a análise de elementos como Ba, Nb, Sn, W, Zr, U, Th e Sb. Contudo, os resultados disponíveis para a modelação realizada neste relatório apenas contêm os teores de Sn, W e Au.

2. Solos

Foram recolhidas 350 amostras de solos que após preparação prévia foram submetidas a digestão ácida, semelhante ao caso anterior, e analisadas quimicamente por ICP-MS com fusão de Li-Bo, (Tetra-)Borato de Lítio para a análise multielementar a 48 elementos, não incluindo elementos de terras raras (ALS Geochemistry Fee Schedule, 2018).

Na década de 60 a *Billington* recolheu 805 amostras de solos a partir de uma malha regular, na região oeste de Argozelo, e na década de 80, o IGM também realizou campanhas de amostragem sobre uma malha regular, recolhendo 77 amostras, inclusive algumas sobre a antiga escombreira das minas de Argozelo. Embora estes dados tenham sido utilizados no trabalho corrente, é importante referir que os pacotes analíticos utilizados na altura pelas empresas responsáveis são desconhecidos e por isso não é possível aferir da qualidade e precisão analítica dos resultados, bem como de possíveis limitações analíticas inerentes a certos métodos e elementos, nomeadamente inclusos em fases resistentes a digestão ácida, ou facilmente voláteis se analisados por fonte de plasma.

3. Sondagens

As amostras da EDM em conjunto com as amostras de sondagens do SFM perfazem um total de 657 análises realizadas (descartando amostras duplicadas). Relativamente às sondagens realizadas pela EDM, foram analisadas 344 amostras (ARG1501 – 13 amostras; ARG1502 – 18 amostras; ARG1503 – 116 amostras; ARG1504 – 128 amostras; ARG1505 – 40 amostras; ARG1506 – 29 amostras) que foram enviadas para o laboratório Bureau Veritas Minerals Pty Ltd.

Sobre as sondagens antigas, sabe-se apenas que o método de análise utilizado foi a fluorescência de raios-X. O método de preparação das amostras realizadas pela EDM foi semelhante ao realizado para as amostras de solos, uma digestão ácida de forma a desagregar e dissolver os minerais, para um mesmo objectivo de uma pesquisa multielementar em conjunto seguido de uma pesquisa mais direccionada a elementos como o Au, o Sn, Ta e Nb através de pacotes analíticos por ICP-MS, ICP-AES e “*Fire Assay*”.

V. Modelação Fractal e Geoestatística

Os modelos multifractais podem ser utilizados para descrever a natureza complexa da geometria fractal e para caracterizar as medidas associadas a um suporte geométrico (Mandelbrot, 1983). O termo multifractal pode ser definido pelas medidas efectuadas em objectos fractais que se encontram espacialmente interligados, os quais se caracterizam a partir da singularidade (que pode ser equiparada a uma medida da energia associada à acumulação de matéria num dado local) e da dimensão fractal (Cheng, 1999).

Em estatística, uma lei de potência é uma relação funcional entre duas quantidades, em que uma mudança relativa a uma quantidade resulta numa mudança proporcional na outra quantidade, independentemente da dimensão inicial dessas quantidades, isto é, uma quantidade varia como uma potência de outra. Por exemplo, considerando a relação entre a área e o comprimento de um dos lados de um quadrado, quando o comprimento duplica, a área é multiplicada por um factor de quatro.

A propriedade fractal de objectos geométricos pode ser determinada através de uma relação de lei de potência entre uma medida, $M(S)$ e a unidade de medida, S :

$$M(S) \propto S^{E-D} \quad (4.1)$$

E – dimensão topológica

D – dimensão fractal

\propto - símbolo que representa proporcionalidade (equivalente a uma constante k) em que:

$$C = E - D \quad (4.2)$$

C é designada como co-dimensão.

Se D é uma medida do espaço absoluto euclideano pelo fractal, então C mede a fracção restante desse espaço (Schertzer e Lovejoy, 1991).

Os métodos de análise espacial mais frequentemente utilizados para a caracterização de correlação de variáveis em função da sua distância (ou separação) em geociências é o (semi-)variograma e a covariância, utilizados como fundamento para trabalhos de interpolação geoestatística, estimação de parâmetros e mapeamento de anomalias (Cheng, 1999).

A modelação tem um propósito importante, que é a capacidade preditiva e que pode ser definida como “Fazer descrições, representações ou predições sobre um sistema real complexo, observado indirectamente através de análises quantitativas de dados relevantes” (Carranza, 2008). Envolve um objecto (ou alvo) de interesse variável, normalmente associado ao comportamento (e.g., presença ou ausência) de um sistema real complexo (e.g. mineralização) que é caracterizado indirectamente através de um número de variáveis ou parâmetros que podem ser directamente observáveis ou medidos, e que se encontram relacionados entre si e com o próprio sistema (Carranza, 2008).

De uma forma geral, o modelo multifractal proporciona mais informação sobre medidas em objectos espacialmente relacionados do que os modelos fractais comuns (Cheng, 1996 e Agterberg, 1996). Multifractais, são fractais espacialmente entrelaçados e relacionados entre si por meio de um dado espectro multifractal (Cheng, 1994).

O reconhecimento de uma anomalia geoquímica a partir de um “*background*” é um problema comum na prospecção mineral. A distribuição espacial dos elementos para qualquer ambiente geológico/geoquímico é controlada pelos processos geológicos (dependentes ou não dos eventos de mineralização) que ocorrem nesse ambiente, como, actividade intrusiva, processos sedimentares ou metamórficos, tectonismo, etc. No decorrer destes eventos, alguns locais poderão tornar-se enriquecidos num dado elemento, ou conjunto de elementos, químicos. As características espaciais da distribuição elementar proporcionam directrizes para a exploração mineral (Cheng, 1994). Vários procedimentos estatísticos podem ser utilizados para ajudar a delimitar e mapear anomalias geoquímicas, como as

técnicas que utilizam a média móvel, Krigagem, variogramas, gráficos de probabilidades, entre outros (Govett, 1975 e Sinclair, 1974, 1976 e 1991).

A modelação aplicada a estes problemas é normalmente estocástica uma vez que usa representações matemáticas de processos que controlam o comportamento do sistema em estudo, tendo em consideração uma distribuição aleatória de uma ou mais variáveis preditivas do objecto de estudo. Assim, a modelação estocástica, não resulta em estimações individuais da variável em estudo, mas antes numa distribuição probabilística de estimações que são derivadas de um elevado número de simulações (projeções estocásticas), reflectindo distribuições aleatórias nas variáveis. A modelação puramente determinista raramente deve ser utilizada em prospecção mineral (Carranza, 2008).

A. Modelos de mapeamento que utilizam a modelação multifractal

1. Concentração-área

O modelo de concentração-área baseia-se no pressuposto de que à medida que os teores médios aumentam, as áreas que os incluem são cada vez menores, segundo uma regra de potência derivada matematicamente nos casos em que a distribuição dos teores é multifractal. Assim, este modelo prevê que o logaritmo das áreas, que incluem os teores, é representado por uma função linear decrescente do logaritmo dos teores observados. Para a elaboração deste modelo, os valores abaixo do limite de detecção não causam perturbação nos cálculos, pelo que são normalmente incluídos nos processos iterativos (Cheng, 1994).

Se a concentração de um dado elemento, por unidade de área, satisfaz um modelo fractal ou multifractal, então a área $A(\rho)$ tem uma relação do tipo lei de potência com a concentração ρ .

Quando a concentração por unidade de área segue um modelo fractal, esta lei de potência tem apenas um expoente. Por outro lado, quando a concentração por área segue um modelo multifractal, pode-se estabelecer diversas relações de lei de potência entre $A(\rho)$ e ρ .

Quando ρ é próximo do seu valor mínimo, ρ_{\min} , as funções de relação de potência são:

$$A(\rho) = C_1 \rho^{-\alpha} ; A(T) - A(\rho) = C \rho^{\beta} \quad (4.3)$$

Onde C_1 e C são constantes, α e β são expoentes associados com o expoente de singularidade máximo.

Quando ρ é próximo do seu valor máximo, ρ_{\max} , a função de relação de potência é:

$$A(\rho) = C_2 \rho^{-\alpha_2} \quad (4.4)$$

Onde C_2 representa outra constante e α_2 é o expoente associado com o expoente de singularidade mínimo.

2. Singularidade

O conceito de singularidade caracteriza o comportamento anómalo associado a um fenómeno natural que poderá ser causado, neste caso, por uma forte concentração incluída num domínio relativamente pequeno. Este conceito tem sido utilizado em estudos de distribuições geoquímicas e tem a vantagem de a sua modelação poder ser representada por intermédio de mapas que torna possível realçar teores anómalos com baixo contraste relativamente aos teores observáveis em toda a área envolvente.

O conceito de singularidade constitui uma ferramenta eficaz para detectar enriquecimentos em elementos traço em meios superficiais, potencialmente causados por mineralizações subterrâneas (Cheng, 2007) requerendo contudo um controlo geológico, mineralógico e geoquímico adequado para que a metodologia seja verdadeiramente testada.

Considerando a quantidade de metal num volume (V) de rocha como $\mu(V)$, a concentração desse metal no volume V pode ser definida como $C(V) = \mu(V) / V$.

Quando V varia, os valores de $\mu(V)$ e $C(V)$ alteram-se concordantemente. Por exemplo, quando V diminui, o valor da quantidade de metal, $\mu(V)$, diminui também. No entanto, a variação $\Delta C(V)$ dependerá das propriedades da mineralização (Cheng, 2007).

De um ponto de vista multifractal, $\mu(V)$ e $C(V)$ relacionam-se com V , de acordo com as seguintes leis de potência:

$$\mu(V) = cV^{\alpha/3} \quad (4.5)$$

$$C(V) = cV^{\alpha(x)-E} \quad (4.6)$$

Sendo $c \rightarrow$ constante (determina a magnitude da função);

E – Dimensão de espaço euclidiano correspondente (plano = 2; volume = 3).

As relações entre as 2 funções são direccionadas para 3 dimensões, mas medidas semelhantes podem ser aplicadas para 2D e 1D. No caso de 2D, o volume V poderá ser substituído por uma área A e o valor α será próximo de 2 (Cheng, 2007).

O parâmetro α determina a forma da função ou a alteração do comportamento da variável medida com a mudança de área. Na óptica do modelo multifractal, se o valor de α é constante em todo o jazigo mineral, o padrão de distribuição espacial da concentração de metal segue uma distribuição (mono)fractal. Contudo, se α tiver múltiplos valores finitos, a distribuição seguirá um modelo multifractal (Cheng, 1999). Nesse último caso, o expoente α é definido como o índice de singularidade.

O índice de singularidade (α), na modelação multifractal, pode ser utilizado para caracterizar a propriedade estrutural, local, da distribuição da concentração de metal num dado jazigo.

Aplicando o conceito de singularidade a um mapa geoquímico, a singularidade positiva ($\alpha < 2$, se aplicada a um plano) usualmente corresponde a zonas enriquecidas ou de elevados valores de concentração de metais. Pelo contrário, zonas negativas correspondem a zonas empobrecidas ou de baixas concentrações de metal.

A estimação de singularidades num mapa geoquímico pode ser aplicada para caracterizar padrões dos elementos singulares dando informações úteis para a interpretação de anomalias geoquímicas relacionadas com a mineralização ou estruturas locais.

B. Conceitos matemáticos utilizados para a elaboração dos mapas de anomalias

1. Semivariograma

A semivariância é utilizada para expressar a variação de uma variável regional ao longo de uma direcção em função da distância (Figura V.1). Estimar a semivariância de dados geoquímicos é, por

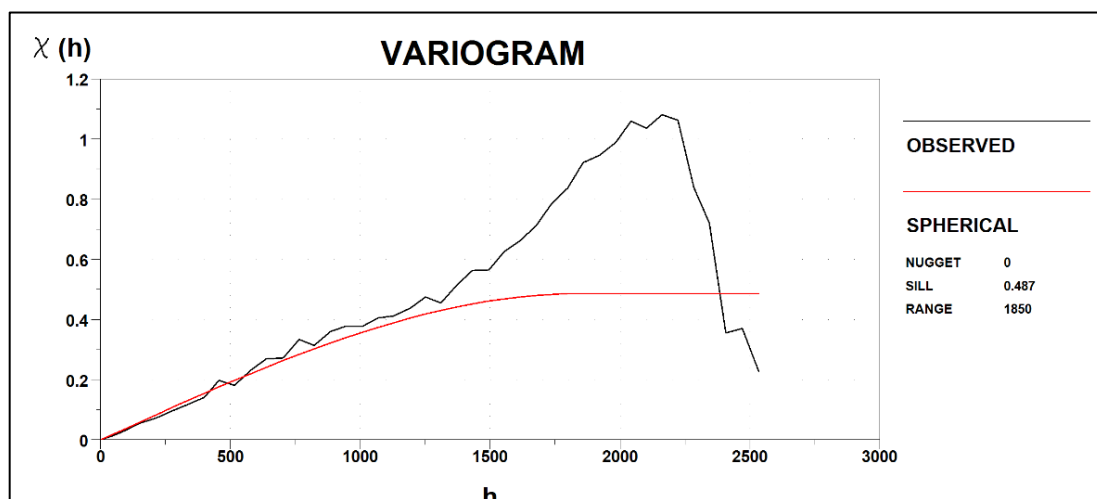


Figura V.1 – Projecção do variograma obtido através do modelo esférico no *Target*, para os valores de concentração de W. Eixo *yy* representa o patamar e eixo *xx* representa o alcance.

outras palavras, uma medida do grau de correlação espacial entre observações (medidas) ao longo de uma determinada referência de suporte (Davis, 2002).

De forma a simplificar o rastreio computacional, foi assumido um espaçamento regular entre amostras, admitindo assim uma distribuição uniforme das observações ao longo de linhas rectas.

Se o espaçamento entre observações, ao longo de uma linha, for uma distância h , então a semivariância pode ser estimada para distâncias que são múltiplas de h :

$$\gamma_h = \sum_i^{n-h} (x_i - x_{i+h})^2 / 2n \quad (4.7)$$

Na função, x_i é a medida de uma variável regionalizada, X , amostrada numa localização i , e x_{i+h} é outra medida amostrada a uma distância, h , de i . Desta forma, calcula-se o somatório do quadrado da diferença entre pares de pontos separados por múltiplos de h . Ainda na função, n representa o número de pontos amostrados, então o número de comparações entre os pares de pontos é $n - h$ (Davis, 2002).

Quando $h = 1$, cada ponto ao longo de uma linha é comparado com o seu vizinho. Quando $h = 2$, cada ponto é comparado com o vizinho a dois intervalos de distância, e assim por diante.

Calculando a semivariância para diversos valores de h , podem-se projectar os resultados sob a forma de semivariograma experimental.

A partir de uma determinada distância, os pontos a serem comparados são cada vez menos correlacionáveis e o quadrado da diferença torna-se constante e igual, em magnitude, à variância (s^2). Assim, a semivariância desenvolve um domínio plano designado, em inglês, por “*sill*” (patamar) (Davis, 2002).

A distância a partir da qual a semivariância se aproxima da variância é referida, em inglês, como o “*range*” (alcance) da variável regionalizada e define um conjunto dentro do qual todos os pontos possuem um grau de correlação entre si (Davis, 2002).

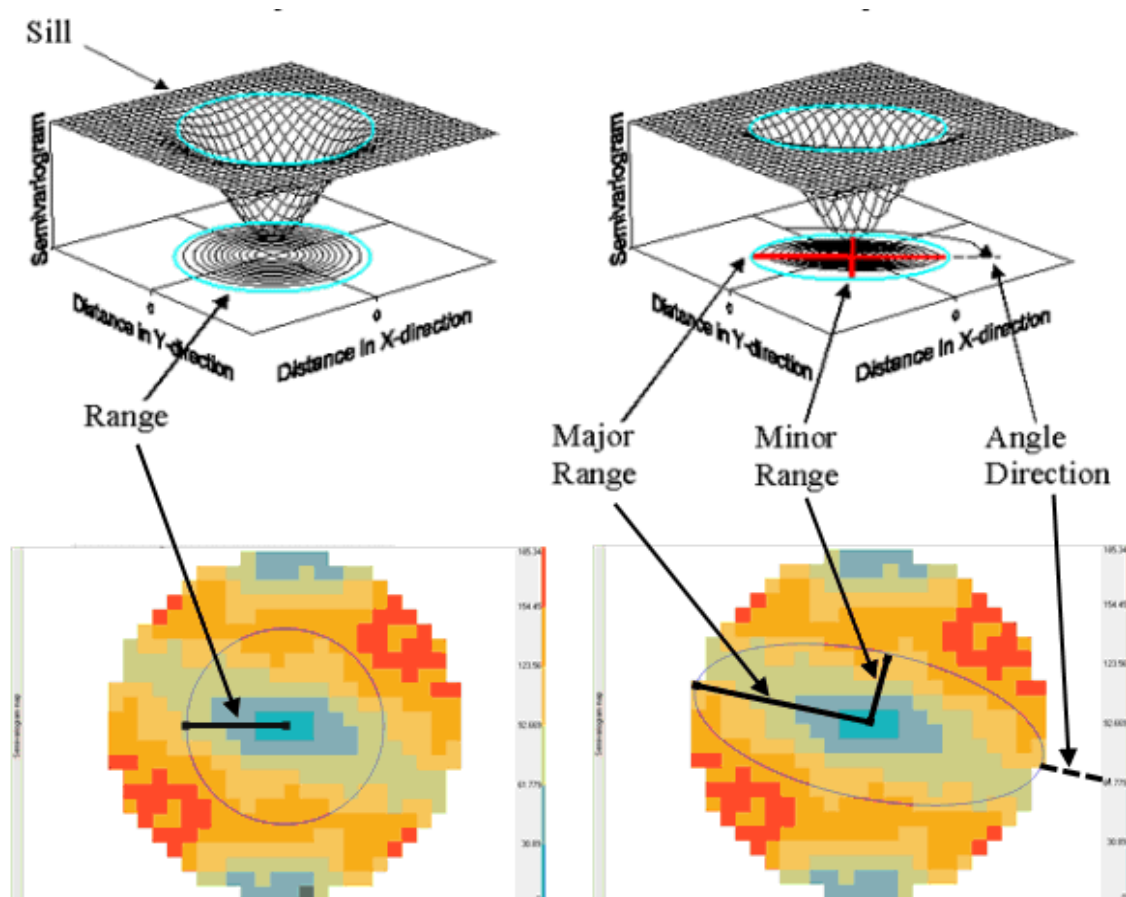


Figura V.2 - Esquematisação da aplicação de anisotropia no modelo de krigagem do ArcGIS.

Ao se adicionar uma anisotropia o semivariograma evolui consoante a relação entre o ângulo da anisotropia e 2 direcções principais de *range*, desenhando um elipsóide (Figura V.2). Estas direcções expressam a dimensão dos filões em função do comprimento (na direcção da anisotropia) e da espessura.

No entanto, neste caso tratando-se de uma estrutura semelhante a um stockwork, não seria quantificável ou representativo utilizar medições reais. O modelo anisótropo do semivariograma atinge o patamar (*sill*) mais rápido em certas direcções do que em outras. O comprimento do maior eixo que atinge o patamar é chamado de *major range* e o comprimento do menor eixo que atinge o patamar é chamado de *minor range*.

2. Krigagem

No caso de as medidas serem realizadas em pontos de amostragem dispersos, e a forma do semivariograma ser estimado através de um modelo apropriado, é possível estimar o valor de qualquer local não amostrado. O procedimento dessa estimação é denominado de krigagem (Davis, 2002).

A krigagem é um conjunto de técnicas de regressão linear generalizadas onde o valor de uma determinada propriedade num local não amostrado é estimado a partir dos seus vizinhos mais próximos. Para tal efeito, a krigagem necessita de um conhecimento prévio dos dados, sob a forma de um semivariograma (contrariamente a técnicas de regressão linear clássicas, alguns métodos de krigagem não assumem que as variáveis são independentes).

Ao contrário dos algoritmos mais convencionais utilizados para o contorno de mapas geoquímicos, a krigagem produz estimações da variável numa grelha de tal forma que a soma do erro quadrático médio é o mínimo, assumindo que a variável tem uma distribuição normal (Davis, 2002).

A krigagem é um interpolador exacto, isto é, as equações estão definidas de forma que ao se usar na estimação o valor da variável medida no ponto que se pretende estimar, a equação devolve o valor exacto que foi medido. A diferença entre os valores devolvidos (entre o estimado e o medido) é um método de validação cruzada para calcular o erro de estimação.

Neste projecto, foi utilizado o algoritmo da krigagem ordinária. Este algoritmo é bastante utilizado na geoestatística devido à sua simplicidade, utilizando a informação fornecida pelo modelo de variograma, e também porque minimizam a variância da estimação.

A krigagem ordinária assume que a média da variável regional é constante ao longo da área de interesse, mas, contrariamente a outros métodos de krigagem, o conhecimento prévio do valor da média não é necessário. Ao remover este requerimento, a aplicabilidade da krigagem ordinária estende-se bastante (Davis, 2002).

O estimador da krigagem ordinária é baseado na fórmula da medida ponderada, onde os valores ponderados dependem da informação estrutural fornecida pelo variograma experimental.

O valor da variável de interesse num ponto não amostrado (x_0) é então calculado como combinação linear dos pontos dos dados vizinhos ($Z(x_0), i = 1, k$):

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^k \lambda_i Z(x_i) \quad (4.9)$$

VI. Tratamento dos dados geoquímicos – Análise geoestatística

O estudo de jazigos através da geoestatística e modelação geoquímica passa por muitas fases que, mesmo independentes da informação de dados geofísicos, de dados de campo e de observações petrográficas e mineralógicas, permitem uma compreensão simples da área em estudo, embora a sua função principal seja sobretudo ser usada como uma ferramenta poderosa durante fases de prospecção mais avançadas ou mesmo durante fases de exploração. É imprescindível que para qualquer projecto de prospecção os dados geoquímicos sejam revistos, analisados e actualizados durante toda a fase de pesquisa. Como tal, no que diz respeito à fase de tratamento de dados geoquímicos relatado neste capítulo, este projecto foi continuamente actualizado (maioritariamente) graças ao reconhecimento paragenético desenvolvido durante o estudo macro e microscópico de amostras cedidas pela EDM, realizados em parceria com os colegas de mestrado Maria Dias e Pedro Francisco (comunicação pessoal).

A amostragem de solos realizada pelo IGM incluiu a recolha em alguns pontos localizados em escombrelas antigas que sobrevalorizam a distribuição geoquímica nesses locais. Estes pontos geram um efeito pepita impuro nos resultados do mapeamento geoestatístico que terá de ser tido em linha de conta.

Antes de se proceder a um estudo geoestatístico mais detalhado da amostragem, foi realizada uma investigação sobre um conjunto de dados estatísticos sumários que caracterizam as amostras nas suas componentes mais importantes e que consubstanciam os resultados obtidos com as metodologias subsequentes. Assim, foram geradas tabelas de estatística descritiva para os dados recolhidos de solos e sondagens, apresentando os valores da média, mediana, mínimo e máximo, desvio padrão, variância, assimetria e curtose (Anexo 2).

É importante mencionar que devido a limitações de representatividade, os dados obtidos da amostragem em sanjas foram descartados devido ao reduzido número de amostras e reduzido número de variáveis medidas, orientado simplesmente para a pesquisa de Ouro, Estanho e Tungsténio.

Na primeira abordagem estatística, será expectável algum tipo de conclusão indirecta que permita elaborar algumas ideias gerais acerca dos parâmetros que controlam a distribuição elementar, como o controlo estrutural, a permeabilidade das rochas, mobilidade de elementos, e focalização a partir dos valores de concentração máximos e mínimos.

O tipo de distribuição dos teores pode ser observado pela diferença entre a média e a mediana (calculada para cada perfil de solos e sondagem), isto é, como a diferença entre ambas é pequena, a distribuição de valores está próxima a uma distribuição gaussiana.

A curtose permite obter uma aproximação sobre a intensidade dos valores anómalos, por elemento, e poderá também ajudar a inferir a mobilidade relativa desse elemento, consoante o achatamento da curva da função da distribuição de probabilidade (Casella, 2010). Por exemplo, uma curva mesocúrtica terá o mesmo tipo de achatamento que a distribuição normal e por isso a extrapolação de um valor considerado anómalo é discutível. No entanto, um valor anómalo é mais facilmente observável no caso de uma curva leptocúrtica (mais afunilada), significando também que o elemento com este tipo de função de distribuição deverá ser pouco móvel e poderá assinalar com melhor precisão os filões (ou locais) mineralizados, tendo em conta o elemento específico em estudo e o tipo de mineralização que neste caso é filoniano. Finalmente, no caso de uma curva platicúrtica (com uma curva mais larga, ou ampla), o elemento em causa poderá ter uma maior mobilidade e a extrapolação de um valor anómalo considerado como teor de corte (ou *cut-off*) pode revelar-se difícil (senão mesmo impossível).

No caso dos solos, a distribuição depende bastante da mobilidade do elemento face aos processos de meteorização e erosão, mas também de outros factores relativos à geomorfologia do terreno. Tanto o W como o Sn possuem uma solubilidade/mobilidade unida nestas condições, pelo que os teores mais elevados corresponderão às zonas directamente localizadas sobre, ou na proximidade, de estruturas filonianas mineralizadas. A morfologia aplanada da região também se revela importante uma vez que impede uma maior mobilidade do tungsténio, do estanho e dos outros elementos através da erosão das rochas.

No caso das sondagens, os valores dependem das fases minerais onde estão contidos os elementos e da localização dos mesmos nos veios mineralizados, i.e., valores elevados de W estarão previsivelmente localizados em locais na sondagem onde se intersectaram veios mineralizados contendo scheelite ou volframite. As grandes amplitudes entre os mínimos e os máximos demonstram uma elevada dispersão dos elementos pesados, nos solos, devido à meteorização (correspondendo a elementos móveis). Para contornar o problema da dispersão, juntaram-se, à modelação, dados obtidos no passado pertencentes à campanha da *Billington* e do IGM (antigo SFM). No entanto, para elementos com uma abundância relativa elevada (na crosta terrestre) a sua dispersão pode depender de fases minerais que estão localizadas tanto nos veios, em minerais gerados durante fases de alteração hidrotermal, localizados na fonte ou na rocha hospedeira da mineralização e, portanto, poderão ser ou não utilizados consoante o objectivo do estudo.

O passo seguinte foi discriminar, a partir das fases minerais que se identificam e observaram no campo, as razões elementares relevantes que demonstrem um comportamento covariante, seja ele negativo ou positivo e que tenha alguma coerência geoquímica. Para além disto, é importante reconhecer nesta fase de pesquisa geoquímica, os principais elementos que servem como guias de prospecção para mineralizações filonianas estano-volfrâmicas. Estes guias podem variar ligeiramente de jazigo para jazigo, já que a sua presença depende das condições/mecanismos de transporte, entre outras, abordadas no Capítulo II. Assim, o segundo passo durante esta fase do projecto resume-se à geração de matrizes de correlação, utilizando os dados totais e os dados divididos por sondagem/solos e obtidos quer pela EDM quer pelo IGM (Anexos 3, 4, 5, 6 e 7).

Em seguida, a partir dos elementos que demonstram algum tipo de afinidade e que servem como *pathfinders* da mineralização, como por exemplo a relação entre o Mn/Fe e o W, ou o P e W, são elaborados gráficos de razões geoquímicas entre elementos, permitindo o estudo de tendências locais, embora ainda de forma preliminar.

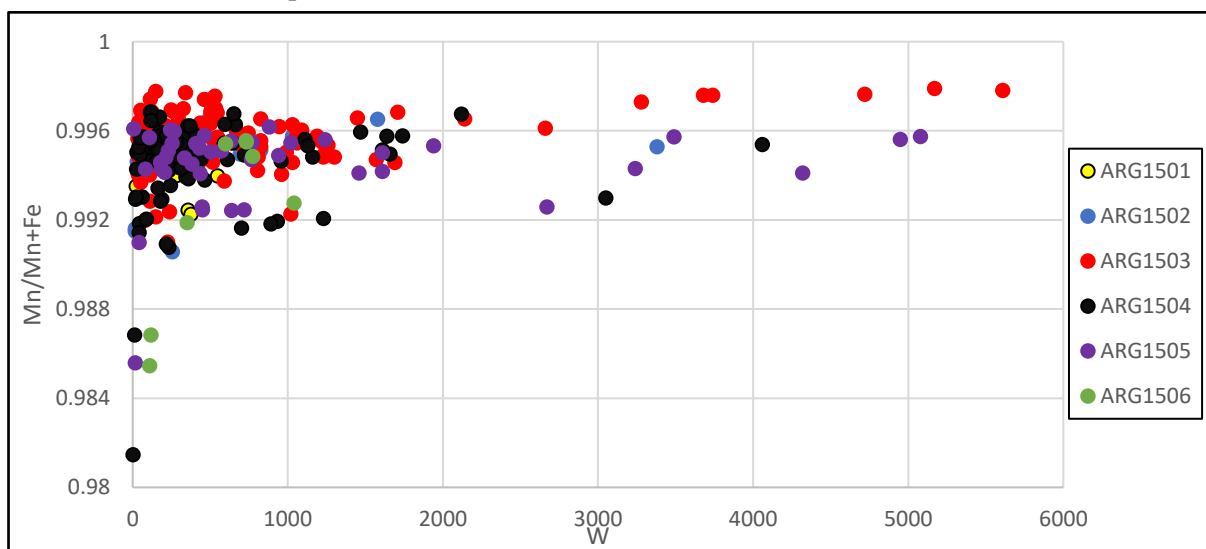


Figura VI.1 - Exemplo de resultados gráficos para o estudo de relações elementares: W vs Mn/(Mn+Fe) correspondente aos dados obtidos em amostras de sondagens.

Estes gráficos (Figura VI.1) procuram identificar a composição geoquímica das volframites e possivelmente, se existe algum tipo de tendência local (para norte ou sul) onde estas se concentrem.

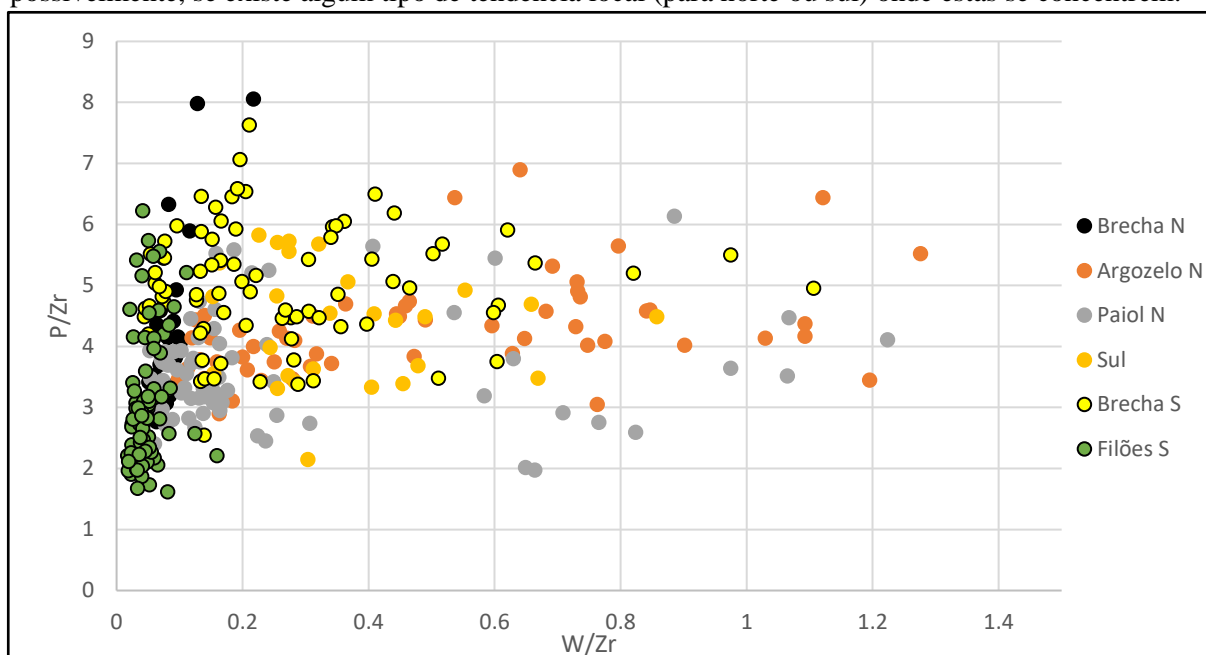


Figura VI.2 - Exemplo de resultados gráficos de relações elementares designados para o estudo de afinidade geoquímica entre P e W em amostras de solos.

Gráficos como a Figura VI.2 foram realizados para o estudo de afinidades geoquímica com o objectivo de identificar *pathfinders* elementares normalizados com elementos imóveis, isto é, elementos cuja mobilidade não seja suficientemente influenciada pelo sistema hidrotermal.

Não obstante, podem-se utilizar índices elementares desenvolvidos graças ao crescente conhecimento sobre a composição química das volframites e cassiterites em jazigos filonianos deste tipo, assim como do cortejo mineralógico que normalmente se associa, expressos como agregados elementares de razões geoquímicas. Esta técnica foi testada anteriormente num projecto de modelação multifractal realizado na região mineira da Panasqueira, Portugal, desenvolvido por Gonçalves, M.A., *et al.*, em 2018. Esta razão expressa a comparação entre a importância relativa do índice volframite/cassiterite (I_{SW}) e o índice de metais base (I_{BM}):

$$I_{SW} = \frac{Sn+W+Nb+Mo+Y}{Sn+W+Nb+Mo+Y+Zn+Pb+Bi+Sb} \times 100 \quad (5.1)$$

$$I_{BM} = \frac{Cu+Zn+Pb+Bi+Co+Cd+Ni}{Cu+Zn+Pb+Bi+Co+Cd+Ni+La+Sr+Ba} \times 100 \quad (5.2)$$

Tendo em conta o tipo de mineralização, após analisadas as matrizes de correlação e as tendências locais, em profundidade, e comparadas com as amostras de sondagem observadas no campo em Abril de 2018, a etapa seguinte consistiu em delimitar a pesquisa geoquímica sobre os elementos mais interessantes do ponto de vista da prospecção, sendo eles As, Ag, Bi, Li, P, Sb, Sn, W, Ta, Nb e Ti. Estes elementos foram cruciais para a escolha das secções de sondagem mais “interessantes” recolhidas durante a amostragem realizada nos meses de Julho e Agosto de 2018 e submetidas para trabalhos de análise macro e microscópicas.

Após a verificação de que estes elementos seguem uma distribuição *log-normal*, através de gráficos de probabilidade, foram definidos intervalos de maior relevância a partir dos quais os teores,

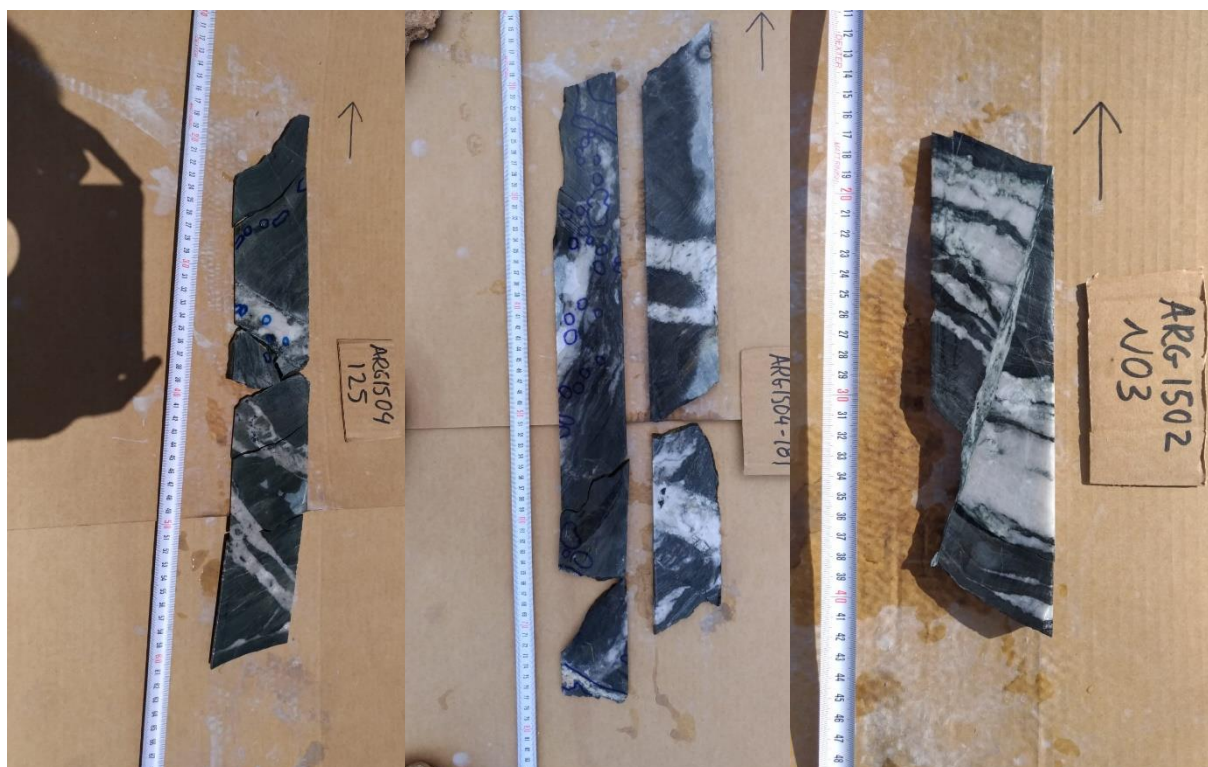


Figura VI.3 - Alguns exemplos de amostras recolhidas para análise macro e microscópica a partir dos critérios aplicados na selecção das secções.

de um dado elemento em estudo, seriam considerados anómalos, definindo, desta forma, um *threshold* local a partir de parâmetros estatísticos (Tabela VI.1) e observação das sondagens (Figura VI.3). Para

Tabela VI.1 - Classificação dos intervalos de valores anómalos (a verde e amarelo) definidos a partir de teores (W) acima das probabilidades cumulativas.

W	Média	2.736447016	Desvio Padrão	0.601334054		
	Val Medidos	Normalização	n	Prob. Cumulativa	Normal Inversa	
771	2.89	0.250	25	0.658	0.406724252	
882	2.95	0.348	26	0.684	0.479505653	
942	2.97	0.395	27	0.711	0.554922943	1175.279 71%
1020	3.01	0.453	28	0.737	0.633640001	
1240	3.09	0.594	29	0.763	0.7164975	
1460	3.16	0.712	30	0.780	0.80450638	
1610	3.21	0.782	31	0.816	0.899434908	1893.686 82%
1940	3.29	0.917	32	0.842	1.003147968	
2670	3.43	1.148	33	0.868	1.118958381	
3240	3.51	1.287	34	0.895	1.25211952	
3490	3.54	1.341	35	0.921	1.412187579	
4320	3.64	1.495	36	0.947	1.619856259	
5080	3.71	1.612	37	0.974	1.937931511	
8720	3.94	2.002	38	1.000		

além disso, foi realizado um estudo preliminar sobre a distribuição de cada elemento em profundidade. Desta forma também se conseguem observar relações directas de afinidade geoquímica entre os elementos seleccionados como prioritários (Figura VI.4).

Os intervalos de interesse seleccionados referem-se à cota, em profundidade, onde se encontram os valores considerados localmente (numa determinada sondagem) anómalos. Este estudo, recorrendo apenas à análise estatística de dados geoquímicos de sondagens, permitiu identificar as secções de sondagem que seriam recolhidas, a partir da caroteca localizada em Argozelo, para a descrição

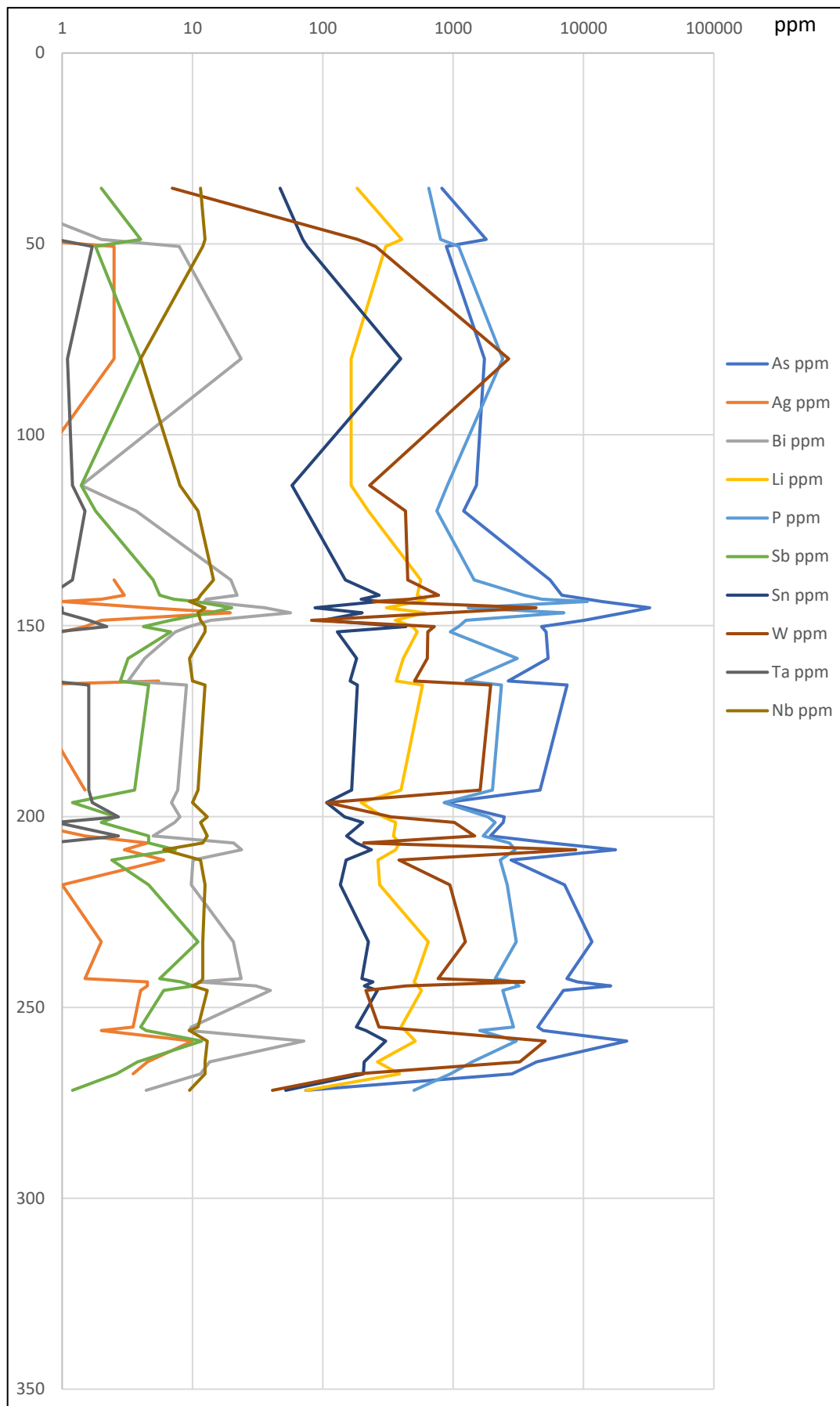


Figura VI.4 - Projecção de teor em profundidade de elementos analisados na sondagem ARG1505.

macroscópica e microscópica. O critério principal que foi utilizado baseou-se na percentagem de frequência cumulativa das concentrações. Dependendo da quantidade de valores acima do determinado *threshold* (no mínimo 5), as percentagens de frequência cumulativa que delimitam valores abaixo do *threshold* de valores considerados anómalos são de 60%, 70%, 80% ou 90%. Este estudo foi realizado com o intuito principal de classificar com maior detalhe a textura e mineralogia estabelecendo uma paragénes mineral, e submetendo a análises de química mineral através de microsonda electrónica do DG-FCUL. Pretende-se desta forma, obter um controlo adequado do significado dos resultados da modelação da distribuição geoquímica em profundidade (3D) e ainda à superfície (2D).

Por último foram calculados os *thresholds* regionais e locais (Anexo 8.) para alguns dos elementos considerados como mais relevantes. Estes foram gerados com a utilização do programa *Matlab* para a execução de modelos e o cálculo dos logaritmos de concentração-área. A partir dos resultados de concentração e área projectados num gráfico concentração-área (\log_x, \log_y), cada *threshold* foi obtido através do cálculo do ponto de intersecção entre duas equações de rectas com inclinações distintas, segundo o seguinte modelo (Figura VI.5):

$$R1: y = m1x + b1;$$

$$R2: y = m2x + b2;$$

$$Threshold = e^{\frac{(b2-b1)}{(m1-m2)}} \quad (5.3)$$

e – número de Euler, tendo em conta que os valores de concentração e área estão sobre a forma logaritmo natural. As equações das rectas são definidas manualmente pelo agrupando de pontos no gráfico que marcam uma alteração visível no valor do declive.

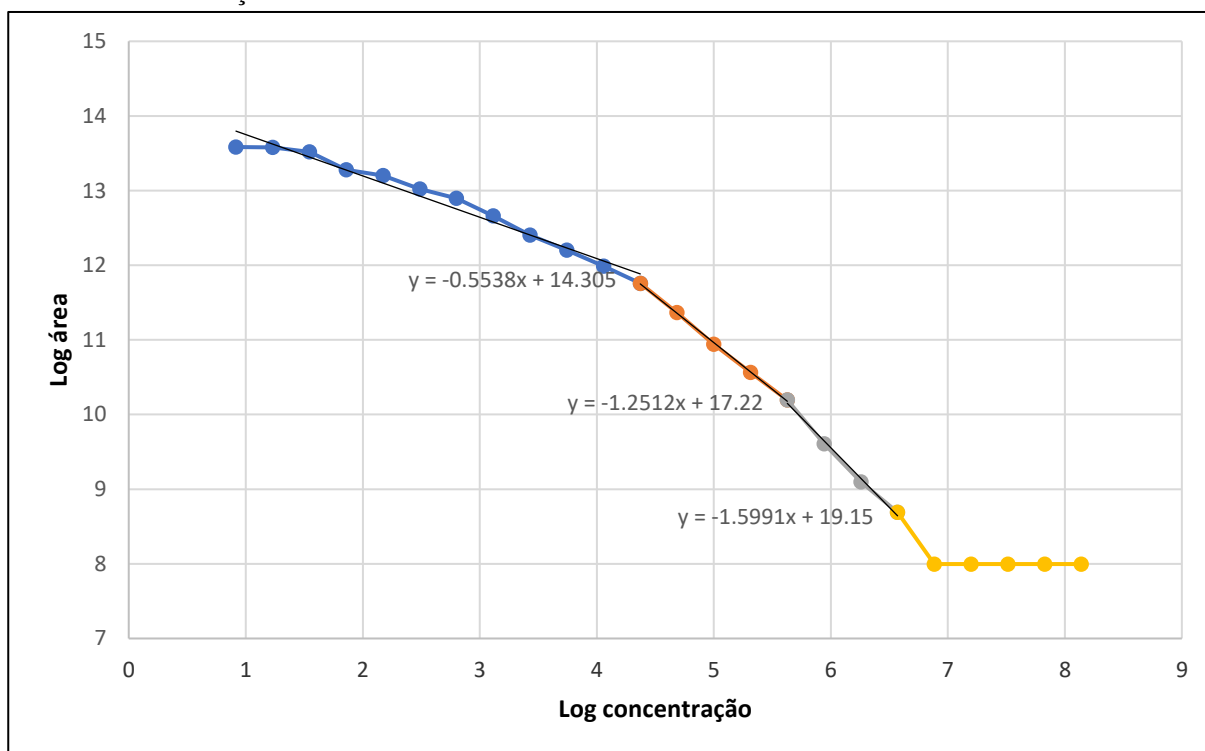


Figura VI.5 - Amostras de solos utilizando o W como exemplo: Gráfico de Log(concentração-área) desenvolvido para o cálculo de thresholds.

Tabela VI.2 - Valores de threshold obtidos, em ppm. Threshold 1 = Threshold regional; Threshold 2 = Threshold local.

		m1	m2	m3	b1	b2	b3
Threshold 1	65.35348	-0.5538	-1.2512		14.305	17.22	
Threshold 2	256.6135		-1.2512	-1.5991		17.22	19.15

VII. Mapeamento Geoquímico

Neste capítulo serão discutidas as abordagens que foram tomadas e algumas considerações que condicionaram o desenvolvimento do trabalho, no que diz respeito à elaboração de mapas de geoquímica elementar, a duas e a três dimensões.

Alguns constrangimentos relacionados com o número de amostras realizadas, a distribuição da amostragem e os pacotes analíticos (relativamente à quantidade de elementos analisados) utilizados impediram que todas as amostras fossem consideradas em conformidade com a planificação inicial. As amostras de sanjas não foram incluídas no mapeamento geoquímico uma vez que estas não contêm uma informação suficientemente relevante para o estudo da distribuição geoquímica, quer relativamente ao número de amostras recolhidas, à quantidade de variáveis medidas e à qualidade analítica das mesmas.

Uma vez que os dados seguem uma distribuição log-normal, estes não sofreram qualquer tipo de transformação.

1. Modelação de mapas em 2D

Nesta fase reconhece-se que a distribuição espacial dos perfis de amostras de solos realizados pela EDM não favorece a elaboração de um variograma com o conjunto total de valores, pelo que foi necessário considerar, em primeiro lugar, um subconjunto de perfis a norte de Argozelo, onde foram retiradas as características espaciais da distribuição e, posteriormente, utilizada essa parametrização na estimação espacial das variáveis para o conjunto total de amostragens. Desta forma assegura-se uma coerência durante a estimação espacial da variável regionalizada comparativamente às variáveis estimadas a partir do subconjunto. Assim, optou-se por caracterizar um variograma em primeiro lugar para o conjunto de perfis de amostras de solos a norte (chamaremos de “krigagem local”) e, posteriormente, utilizar o mesmo variograma para o conjunto total de amostras (Billington + EDM + IGM – “krigagem regional”). Todos os valores parametrizados durante a modelação 2D podem ser consultados em Anexo (Anexo 13).

Para a “krigagem local” utilizou-se o algoritmo de krigagem ordinária com uma transformação logarítmica dos dados, tornando as variâncias mais constantes e mantendo uma distribuição próxima da normal. Ao semivariograma empírico foi atribuído o modelo exponencial visto que este se adequava melhor em comparação com os outros tipos de modelo disponíveis. Foi também necessário, principalmente do ponto de vista geológico, definir empiricamente uma anisotropia com direcção de 25,664, correspondente à direcção média dos filões mineralizados. Descartou-se o efeito de pepita e obtiveram-se os valores do semivariograma relativamente ao patamar (0,2639) e ao alcance (90,5 - eixo de alcance maior; e 37,7 - eixo de alcance menor). Tendo as amostras dispostas segundo uma malha geométrica de amostragem, o espaçamento da malha geralmente é um bom indicador para se definir um número de *lags*. O valor medido a corresponde a 12, cerca de metade da distância média entre pontos amostrados.

Para a “krigagem regional” usaram-se os mesmos parâmetros obtidos para o domínio (modelo) local e definiu-se ainda uma região de pesquisa de pontos que restringe, por sectores, os valores medidos utilizados na interpolação com base na sua correlação espacial, assumindo que à medida que os pontos amostrados se afastam da zona de estimação, a sua influência sobre o valor estimado será menor, pois a sua autocorrelação espacial será mais reduzida. O sector varia em forma e tamanho, alterando o número de “vizinhos” (valores medidos) utilizados no cálculo. Foi seleccionado um sector único, contendo um máximo de 100 e um mínimo de 13 pontos para a estimação, contrariamente aos 10 a 15 pontos utilizados na krigagem local.

Utilizando, por exemplo, o W, que será um bom marcador de filões, calculou-se assim o semivariograma para o conjunto de perfis na região norte e, posteriormente, aplica-se a mesma parametrização para o conjunto total de dados (Figura VII.1).

É importante referir que, no caso da Billington, só existem valores para os elementos W e Sn, e, por isso, apenas estes elementos foram mapeados em 2D através do conjunto total das amostragens de solos recolhidas pela EDM, IGM e Billington.

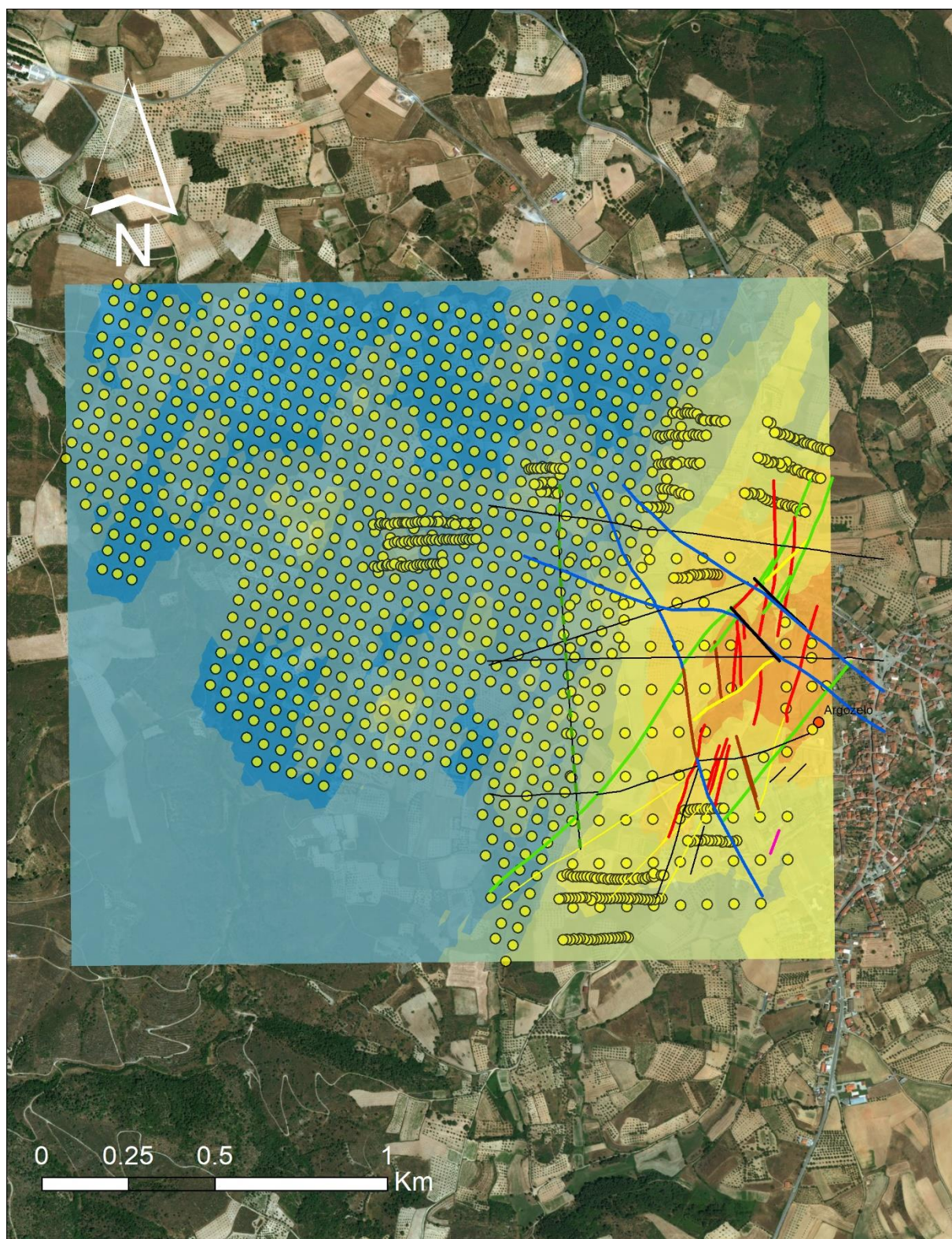


Figura VII.1 – Distribuição geoquímica de W a partir de amostras de solos (com anisotropia).

2. Modelação de mapas em 3D

A geração dos mapas em 3D enfrentou várias etapas que contaram com a utilização de diferentes ferramentas informáticas e culminaram num desvio relativo ao objectivo final de mapeamento de anomalias geoquímicas em profundidade.

O programa *Target* (produto da *GEOSOFT*®) é frequentemente utilizado como uma ferramenta para a prospecção de subsuperfície capaz de integrar dados de furos de sondagem com outros dados de superfície, como geoquímica, através de perfis planos e vistas de mapas e secções, ou produzir modelos em 3D a partir do traçado de sondagem.

O estudo preliminar de perfis de sondagem foi crítico para a posterior geração do modelo 3D. Utilizando o programa *Target*, foi possível vectorizar a massa metalogenética a partir dos locais de sondagem contendo toda a informação, desde litologia, a dados geoquímicos, e posteriormente projectar as sondagens realizadas pela EDM e SFM.

A partir dos mesmos perfis, foram gerados modelos em *voxel*, uma ferramenta que permite criar grelhas de três dimensões baseadas nos mesmos dados representados nos perfis de sondagem, isto é, nos teores de concentração de cada elemento em estudo. Os modelos *voxel* utilizam métodos de geração de malhas regulares (“*gridding*”) mais simples, como seja o método do vizinho mais próximo ou o método de curvatura mínima, gerando diversas células 3D (em forma de cubo) cada uma associada a um atributo da “*string*” (informação retida no ponto em análise, neste caso correspondente ao valor do teor de concentração elementar estimado). Utilizando as funções da ferramenta 3D é possível manipular a visualização do *voxel*, como seleccionar quais as unidades (sondagens) observáveis, as dimensões das células do *voxel*, assim como a quantidade de células, a transparência e outros aspectos gráficos.

A partir dos dados de concentração em profundidade, foram calculados os *thresholds*, por elemento e por sondagem, admitindo que existirá uma diferença, pelo menos ao nível do *threshold* local, entre cada sondagem. O *threshold* foi calculado, tal como para as amostras de solos, a partir de um *script* em *Matlab*. Pretende-se assim delimitar, através do *threshold*, as secções de sondagem que representam, com maior precisão, os filões mineralizados “alvo”, com o intuito também de observar algum tipo de zonamento geoquímico, em profundidade e ao longo da região. Contudo, não existe, até à data de elaboração deste relatório, uma função nas ferramentas 3D do *Target* que permite classificar os valores exibidos nos perfis de sondagem.

Em contrapartida, foi adicionada a descrição litológica, nos perfis de sondagem, que integra a informação sobre a natureza das unidades recolhidas e os veios/fracturas ou quaisquer outros tipos de estruturas interceptadas ao longo do testemunho de sondagem. Contrapondo essa informação com a modelação geoquímica para cada elemento é possível relacionar as zonas de elevados teores com os filões interceptados. Virtualmente é possível delimitar essas regiões nos perfis de sondagem com uma ferramenta específica do *target* para a construção de polígonos livres. Porém, apenas foram delimitadas nas sondagens ARG1503, ARG1504 e ARG1505, pois estas contêm uma maior quantidade de informação, incorporam concentrações de W e Sn bastante elevadas e estão separados por uma área com cerca de 60 000 m² onde não foram realizados quaisquer tipos de amostragens ou levantamentos geofísicos.

De forma a enriquecer a informação contida no modelo 3D, foi adicionado um mapa de anomalias geoquímicas de amostras de solos gerados no *Target* (segundo o mesmo procedimento aplicado aos mapas produzidos em *ArcGIS*), assim como outros modelos 3D, previamente desenvolvidos pela EDM, que representam a progressão das estruturas filonianas principais, para norte e sul, e uma representação, em bruto, da massa de jazigo já explorada, mapeada segundo cortes realizados nas galerias de Argozelo. A adição destes anexos constitui um apoio à visualização da progressão de anomalias geoquímicas em estruturas filonianas, entre as sondagens ARG1503, ARG1504 e ARG1505.

Através dos perfis de sondagem, o *Target* liga os polígonos correspondentes a secções de elevadas concentrações elementares de um perfil, com as secções de outro e gera um modelo de desenho a 3 dimensões. Pegando nos mesmos perfis usados para as delimitações de estruturas de maior interesse, ARG1503 e ARG1504-ARG1505, foi criado um modelo 3D que representa uma área de interesse para a elaboração futura de estudos de prospecção mais aprofundados.

VIII. Resultados e discussão

Em função dos dados e conhecimento disponíveis existe alguma expectativa na progressão de filões para norte e para sul da mina de Argozelo, pelo que o desenvolvimento da mineralização deverá seguir a orientação dos filões portadores já identificados, isto é, filões com direcção N-S e/ou filões NE-SW.

Os resultados obtidos quer durante o estudo geoestatístico, quer durante o desenvolvimento dos mapas 2D ou 3D, requerem alguma reflexão, com especial referência para o desenvolvimento inicial dos mapas de geoquímica da amostragem de solos.

A. Gráficos de correlações elementares

Após a organização da base de dados geoquímicos procedeu-se a uma análise indicadora da natureza das fases portadoras de W que estejam presentes na região. Este estudo é essencial para se proceder a uma correcta interpretação dos resultados dos mapas ou para que seja adoptada a abordagem mais correcta durante a modelação dos mapas geoquímicos.

Foram estudadas as correlações elementares com base nas descrições anteriores das fases mineralizadas, complementando essa informação com o contributo da análise macroscópica das amostras seleccionadas com base nos critérios descritos no capítulo V. O objectivo é identificar *pathfinders* locais que permitam avaliar o seguimento da mineralização, neste caso, se o Mn pode ser um elemento indicador de domínios portadores de fases hubneríticas.

Um dos factores mais importantes em jogo é o conhecimento da paragénese mineral local. Conhecendo características geológicas como o tipo de mineralização e o seu enquadramento geológico, facilita a modelação geoestatística dos dados especificamente orientada para o local em estudo.

Por exemplo, a elaboração do gráfico W vs Mn/Mn+Fe (Figura VIII.1) permite aferir qual a constituição das volframites (Fe, Mn WO₄) relativamente ao *end member* hubnerite (MnWO₄).

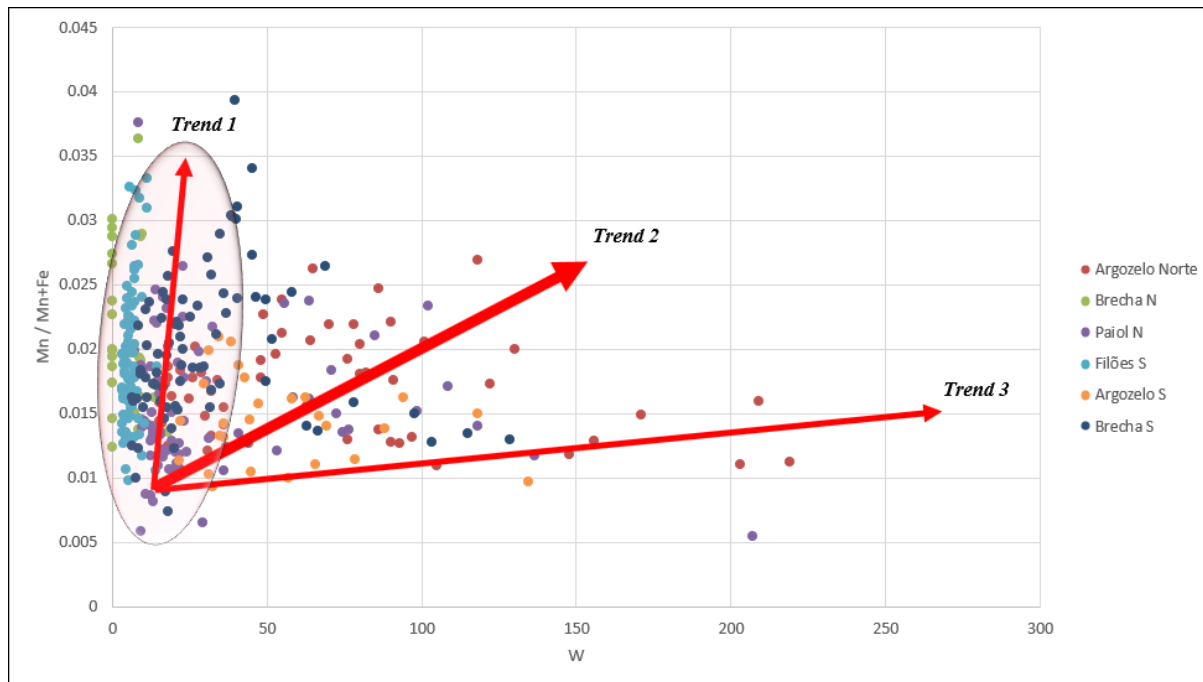


Figura VIII.1 - Distribuição das relações Fe-Mn (ppm) com W (ppm) em cada perfil de amostragem de solos realizado pela EDM.

Neste caso, quando a correlação que se verifica entre as duas variáveis é positiva significa que as amostras incluídas no *trend 2* assinalam a presença de hubnerite. Enquanto que as amostras incluídas no *trend 1* caracterizam a presença de óxidos de Mn, ou outras fases minerais de Fe e Mn se correlação com W. Pelo contrário, o *trend 3* simboliza amostras de solos ricas em W, mas com teores

significativamente mais baixos de Mn, o que poderá indicar amostras cuja fase mineral de W mais comum corresponderá à scheelite. Denota-se que os perfis designados de “Brecha N”, “Filões S” e grande parte das amostras do perfil “Brecha S” desenham o *cluster* de pontos pertencentes ao *trend 1* que representam fases minerais que incluem Mn/Fe e que não apresentam nenhuma correlação aparente com o W.

O mesmo gráfico aplicado às amostras de solos do IGM e às sondagens da EDM (Anexo 9 e Anexo 14 ou Figura VI.1, respectivamente) demonstram que a situação anterior não é a comum, e.g., o *trend 2* é bastante menos expressivo (ou mesmo inexistente) em ambos os casos levando a crer que

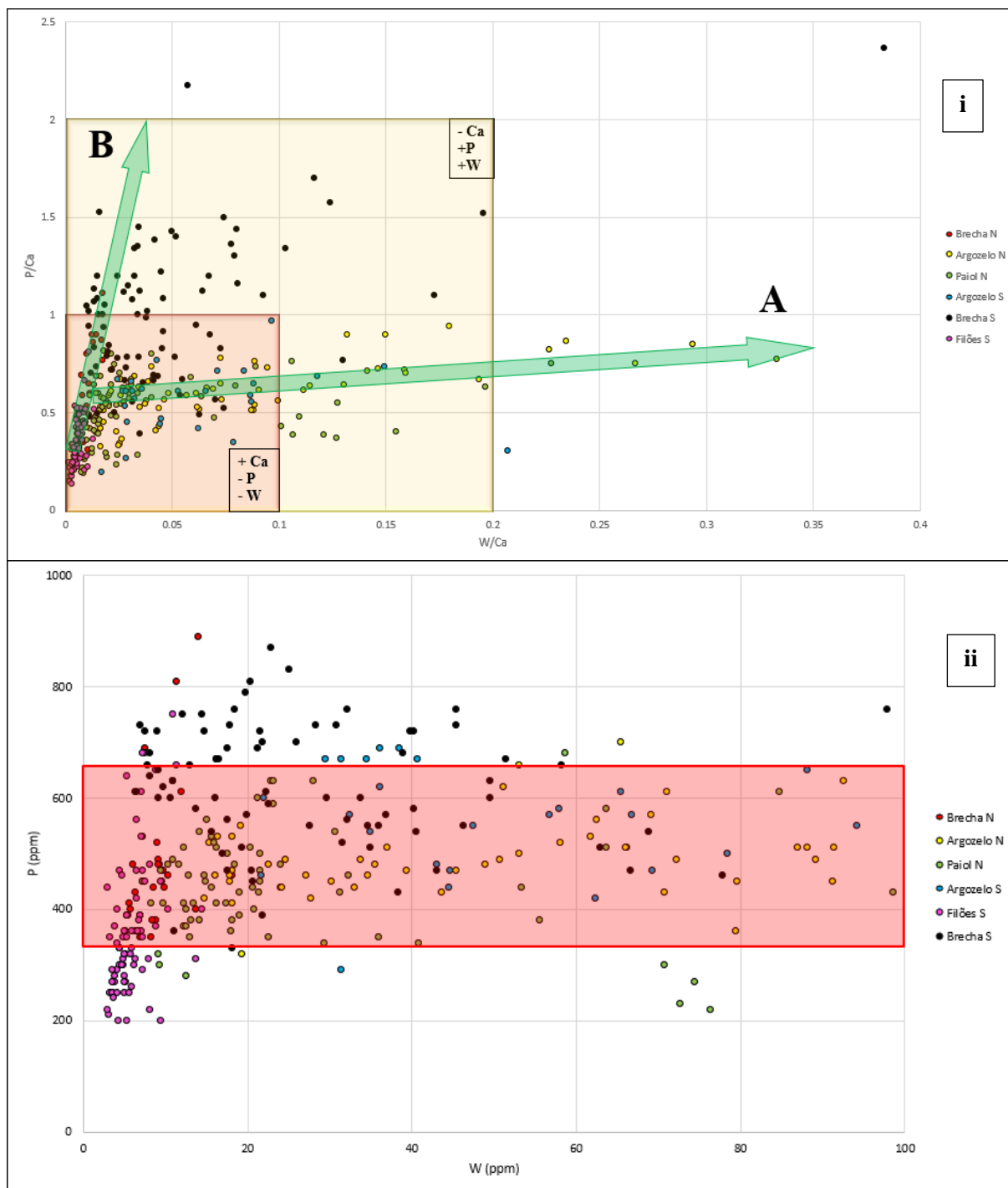


Figura VIII.2 - i) Projecção de P/W normalizados para Ca, divididos pelos perfis de amostragem de solos; ii) projecção da concentração de P/W, em cada perfil de amostragem de solos.

existirá, para ambos, algum tipo de interferência com outras fases minerais que não são consideradas neste estudo em particular, ou até, alguma limitação relativamente ao pacote analítico utilizado.

A elevada abundância de apatite, aparentemente resultante de reacções de alteração hidrotermal, é um aspecto mineralógico de elevado interesse nesta região, que levou a um estudo analítico mais aprofundado com o intuito de decifrar a sua relação e com as mineralizações de tungsténio e de que forma poderá controlar, ou não, a deposição de minerais de volframite e scheelite.

A figura VIII.2.i) demonstra que a evolução de Ca no sistema poderá exercer algum controlo geoquímico sobre a deposição de W sob a forma de volframite ou scheelite (ex: quando W/Ca aumenta no intervalo onde $0,5 < [P/Ca] < 1$ – **A** → diz respeito a amostras deverão conter volframite consoante o aumento de W/Ca , ocorrendo para os perfis “Argozelo N”, “Paiol N” e alguns exemplos do perfil “Argozelo S”) ou sob a forma de scheelite, nos perfis “Filões S”, “Brecha N” e alguns casos no perfil “Brecha S” (onde $0 < [W/Ca] < 0,05$ – **B**). Os pontos dispersos deverão representar fases de scheelite – volframite – cassiterite que poderão ser contemporâneas ou sobrepostas.

Analisando o gráfico da figura VIII.2.ii), denota-se um comportamento semelhante em cada perfil de amostragem, quando normalizados para o Ca. A partir deste gráfico (Figura VII.2.ii) demonstra-se que a mesma região onde se localiza o maior registo de aumento de $[W]$, deverá corresponder à região **A** (Figura VIII.2.i)), significando que a precipitação de volframite, para além da quantidade de cálcio, poderá estar também condicionada pela quantidade de fósforo no sistema, que, observado pelas sondagens, estará limitado a 6000 ppm (Figura VII.3).

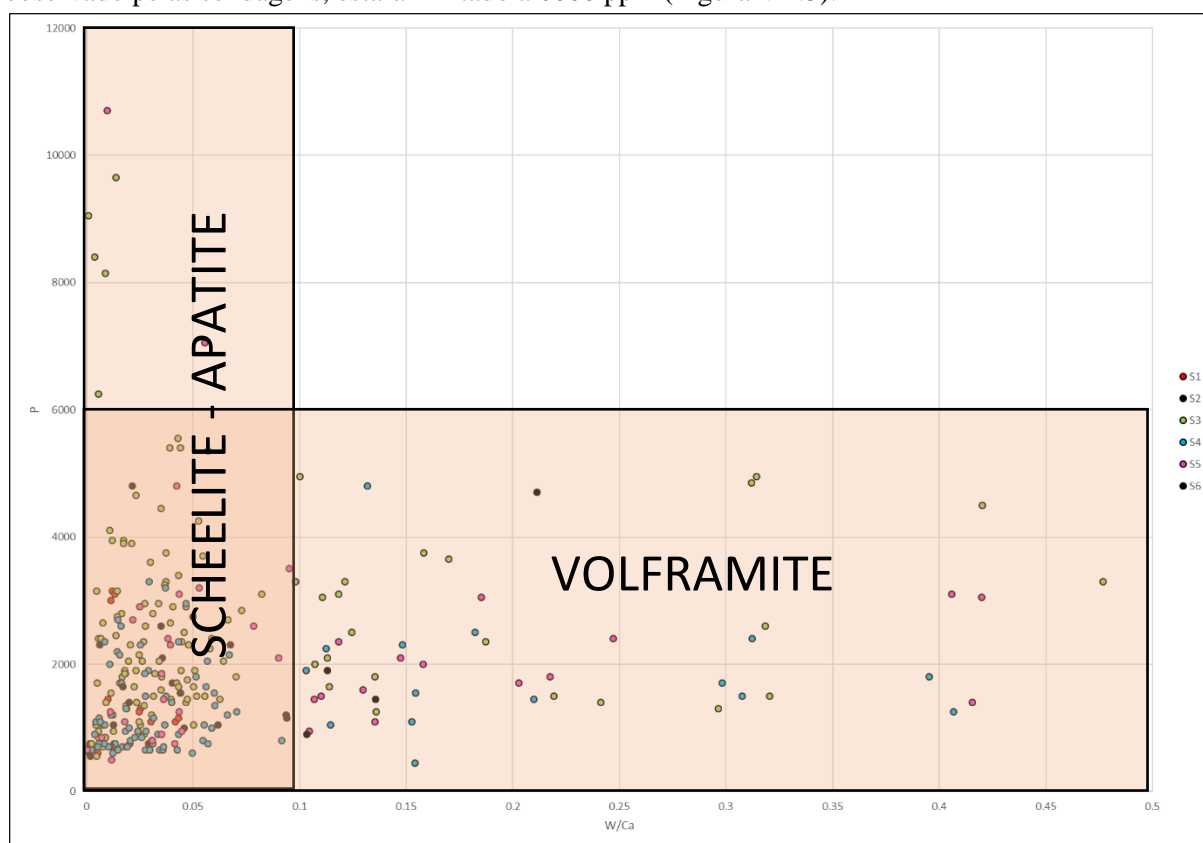


Figura VIII.3 - Projecção P vs W/Ca correspondente aos dados de amostras de sondagens.

No caso das sondagens definiram-se intervalos no gráfico P vs W/Ca (Figura VIII.3) que aparentam seguir tendências para a formação de scheelite-apatite ou volframite, considerando um sistema Ca-W-P-O, embora não tão óbvias como no caso das amostras de solos. O intervalo de amostras que se encontra encostado ao eixo Y (P em ppm) segue a tendência de formação de scheelite que pode, ou não, depender da quantidade de P no sistema, podendo significar a existência de pelo menos 2

gerações de scheelite diferentes. O intervalo de amostras que se encontra encostado ao eixo X, acima de um determinado valor de W/Ca, segue um *trend* que deverá corresponder a amostras portadoras de volframite que aparentam estar limitadas pela concentração de fósforo no sistema, até 6000 ppm (Figuras VIII.3 e VIII.4), como acontece no caso das amostras de solos (Figura VIII.2). As amostras que dificilmente pertencem a um ou outro *cluster*, não seguem nenhuma tendência específica e possivelmente serão resultado de um percurso mais complexo que poderão representar fases minerais contemporâneas ou sobrepostas (ou simplesmente mistura).

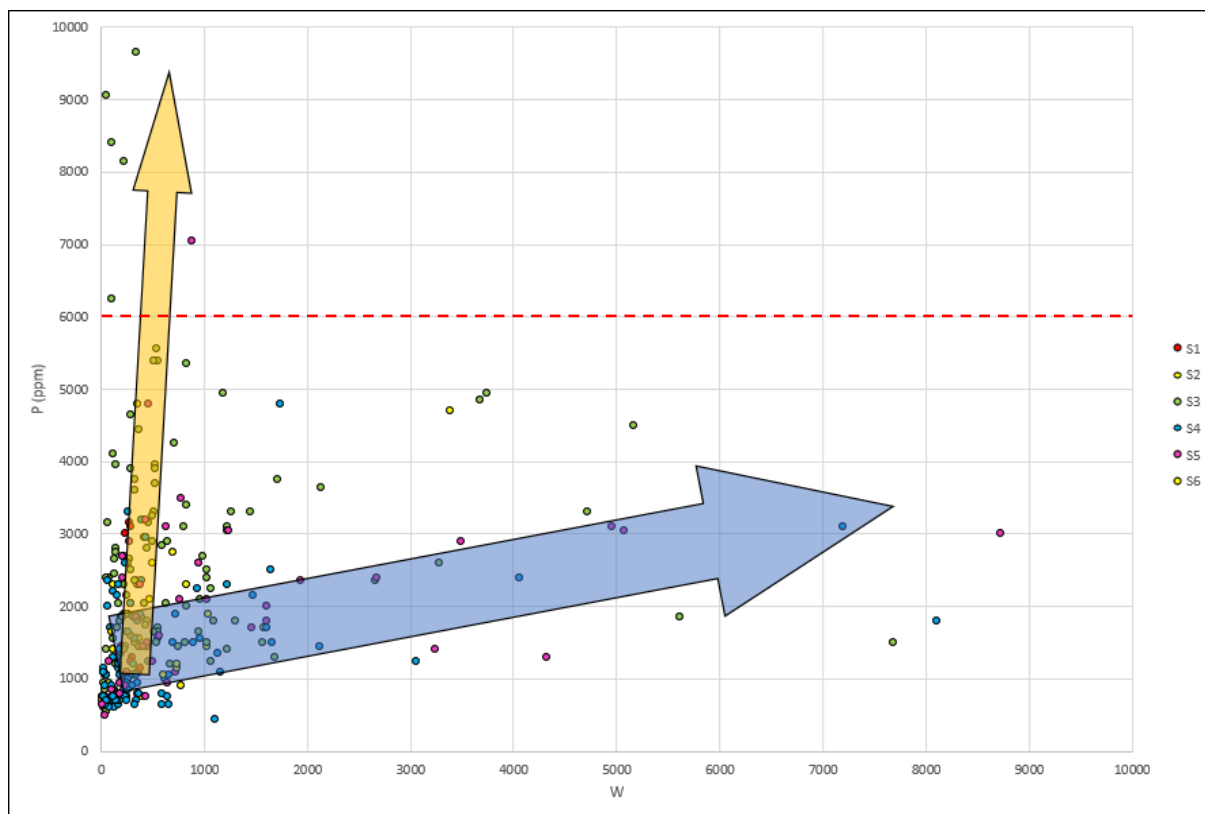


Figura VIII.5 - Projecção de P/W dos dados de amostras de sondagem. A linha a vermelho assinala o teor de P que condiciona as fases de W que, neste caso, refere-se aos 6000 ppm's de P.

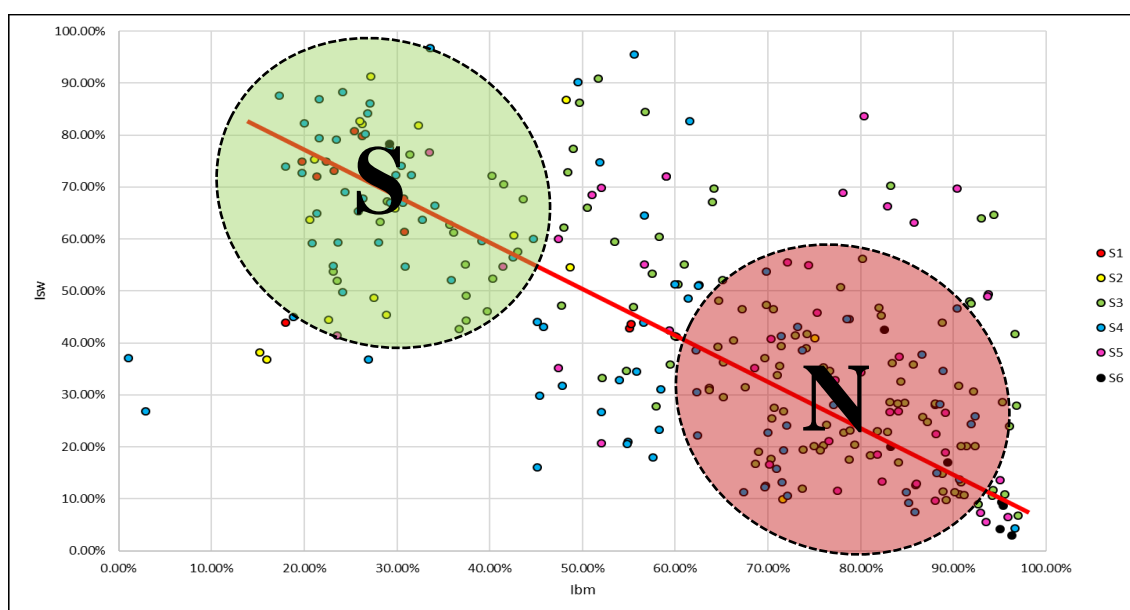


Figura VIII.4 - Distribuição gráfica entre os índices estanho-volfrâmio e índice metais base relativamente aos dados de sondagens.

O reconhecimento do mecanismo prevalecente na dispersão dos elementos favoreceu a planificação dos programas de amostragem e, conseqüentemente, o desenvolvimento de modelos de krigagem representativos das anomalias obtidas a partir da análise multifractal concentração-área.

O cálculo de matrizes de correlação é importante para reconhecer correlações entre elementos ou parâmetros como seja a relação entre o índice de metais base e o índice de estanho-volfrâmio que, no caso das amostras de sondagem, se encontram inversamente correlacionadas (Figura VIII.5). A distribuição de amostras pertencentes a sondagens realizadas a sul está predominantemente agrupada no domínio a verde designado de “S” e a distribuição de amostras pertencentes a sondagens realizadas a norte está agrupada no domínio a vermelho, designado de “N”, na figura VIII.5. A distribuição das amostras nos determinados domínios poderá ter alguma influência acerca do afastamento à fonte de metais ou sobre o conjunto de processos de sobreposição de eventos metalogenéticos.

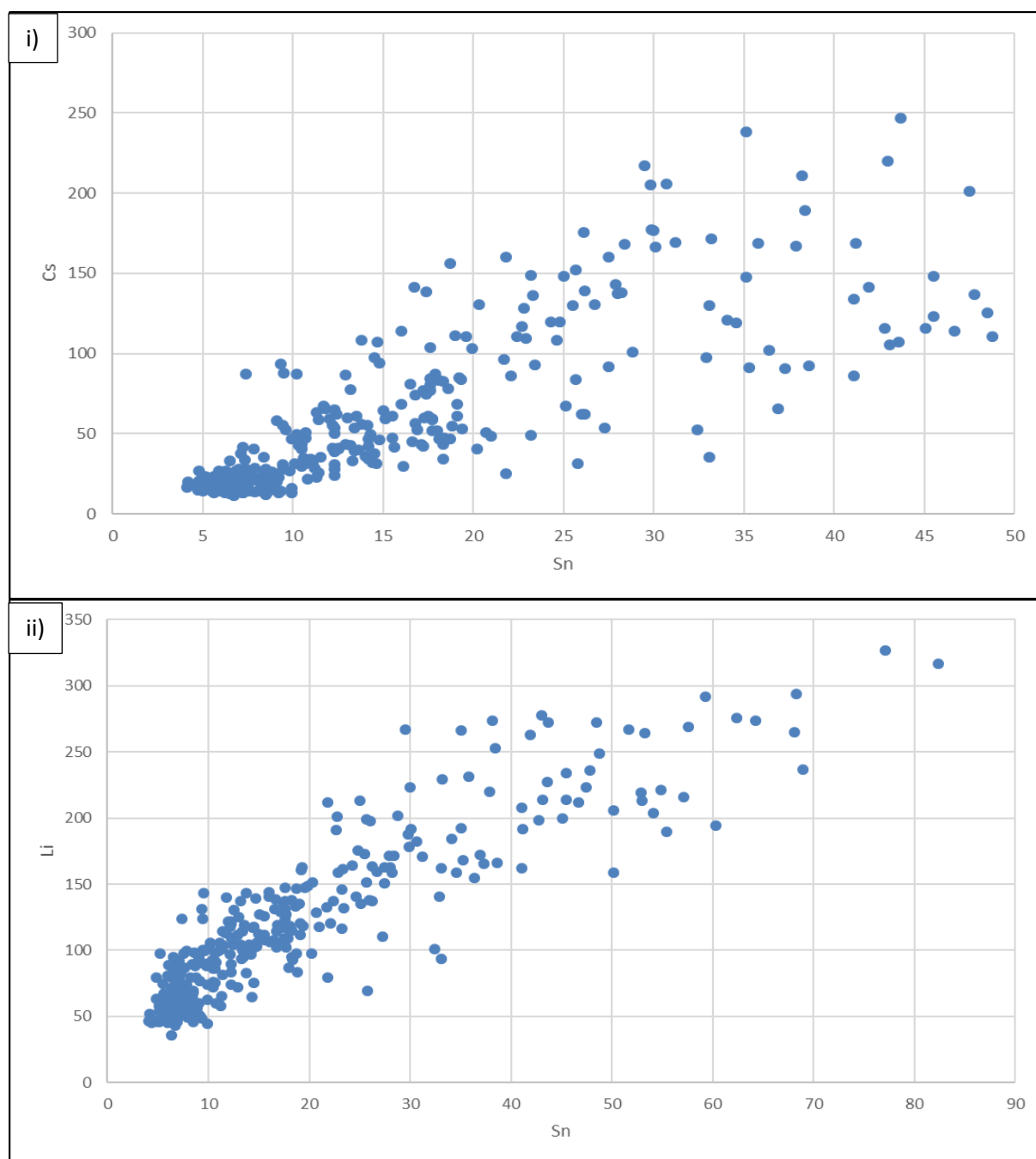


Figura VIII.6 - Projecções gráficas de relações elementares de amostras de solos, em ppm: i) Sn-Cs; ii) Sn-Li.

Adicionalmente, o estudo de matrizes de correlação desenvolvidas para amostras de sondagem demonstra a possibilidade da ocorrência de uma geração de filões aplito-pegmatíticos mais evoluídos do tipo LCT (Lítio-Césio-Tântalo), mercê da relação entre Sn e os membros caracterizadores LCT, com uma correlação relativa entre o grupo de elementos que se perde progressivamente para norte (Figura VIII.6; Anexo 3). Dado que a região de Paredes-Ribeira-Argozelo está dominada pela intrusão de batólitos graníticos tipo-S, a natureza de veios pegmatíticos poderá ser resultado de fracções residuais magmáticas resultantes de processos de fraccionação ou decorrentes da actividade hidrotermal tardi-magmática. Estes processos por vezes concorrem para enriquecimentos em elementos incompatíveis que se reflectem a partir de uma incorporação substancial de voláteis (OH, F, B, Cl) e metais raros como Be, Li, Sn, W, Rb, Cs, Nb, Ta, REE e U. Torna-se então expectável que se for o caso, o Sn seja directamente correlacionável com elementos como Ta, Cs, Rb, Be e Li, admitindo que é difícil categorizar, mesmo se o último caso for afirmativo, este comportamento como uma contribuição pegmatítica do tipo LCT a partir de análises realizadas em rocha total. Neste caso, os resultados são inconclusivos (Anexo 10), podendo registar-se uma afinidade do Sn com Li, Be e Cs apenas nas sondagens ARG1501 e ARG1502, localizadas a Sul (Figura IV.5).

Os dados disponíveis contêm fracas provas para se afirmar que se trata de veios aplito-pegmatíticos. Por um lado, esta correlação só se observa nos dados de amostragem de solos, contudo durante o trabalho de campo e observação de amostras no IST (Instituto Superior Técnico) foi registada uma família de veios tardios preenchidos por feldspato potássico, característicos desta tipologia de jazigos, embora em termos texturais, de grão menor a 3 cm.

3. Perfis de solos Longitude vs Teor W (*c/thresholds*)

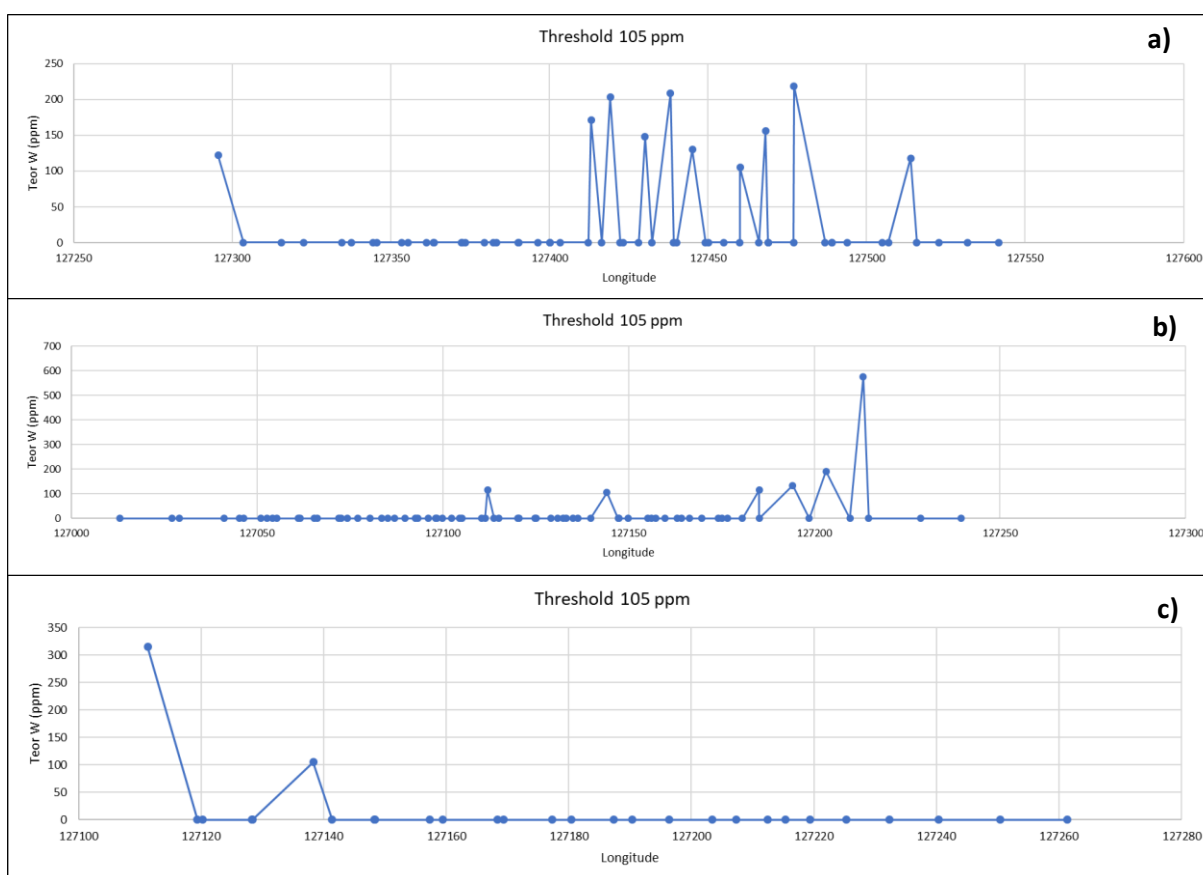


Figura VIII.7 - Perfis de thresholds de W comparativamente à longitude, ao longo dos perfis denominados de a) Argozelo Norte; b) Paiol Norte e c) Argozelo Sul.

Uma técnica simples, utilizada durante as fases iniciais da modelação, é a comparação entre o teor de um dado elemento (neste caso utilizou-se o W por ser um bom indicador de veios mineralizados), aplicando um *threshold* local, com a longitude, para cada perfil de amostragem de solos (Figura VIII.7). A observação de diagramas desta natureza permite localizar os veios mineralizados “alvo” intersectados ao longo de um determinado perfil de amostragem. Neste caso observa-se que os perfis de amostragem localizados na região norte do sector de Argozelo intersectaram maiores quantidades de veios mineralizados. Para além disso, denota-se a variação de azimute relativamente aos veios intersectados a norte e a sul de Argozelo, não significando que se trata exactamente dos mesmos veios mineralizados em ambos os casos.

4. Perfis de sondagens

Semelhante ao desenvolvimento de diagramas de Teor/Longitude para os perfis de amostragem de solos, a elaboração de perfis de sondagem exibindo a litologia e concentração (a partir da krigagem) serviu como um bom método para identificar e localizar pacotes de veios mineralizados (devido à sua reduzida dimensão) denominados de “alvo” por possuírem concentrações de Sn e/ou W próximas e acima dos *thresholds* determinados para cada sondagem (Tabela VII.1).

Algumas das conclusões retiradas a partir dos perfis de sondagem foram comprovadas através da observação macro e microscópica das amostras de campo recolhidas consoante os “intervalos de interesse” (Capítulo V).

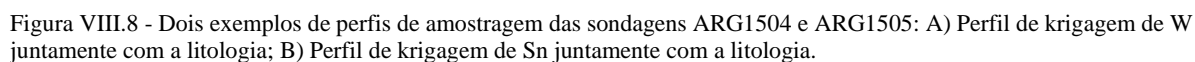
Para a maioria dos perfis de sondagem, a observação de um sinal elevado, relativamente aos teores de cada elemento, localizados numa determinada profundidade, está directamente relacionado com uma presença significativa de fases minerais (metálicas e não metálicas) portadoras desses elementos, observadas em lâmina delgada. Para além disso, nos perfis de sondagem registaram-se frequentes associações de grupos diferentes de elementos, que em muitos casos, sendo inversamente ou directamente proporcionais, dão indicações de mineralizações estano-tungstíferas.

Os elementos As + Ag + Bi + Cu + Zn estão frequentemente associados uns com os outros. Este grupo de elementos na maior parte das vezes está correlacionado com outro grupo, W + P, embora haja também casos onde esta relação não se observa. O Nb + V (e por vezes Sb) representam um outro grupo de elementos que em muitos casos são inversamente proporcionais aos grupos anteriores. O Sn tem uma distribuição independente da presença de quaisquer dos grupos elementares mencionados anteriormente, no entanto, denota-se uma correlação maior com Nb, em maiores profundidades (geralmente superiores a 180 metros), sendo o grupo As+Ag+Bi+Cu+Zn inversamente proporcional e observa-se um comportamento contrário a menores profundidades.

Os minerais identificados a partir da análise microscópica foram acompanhados pela observação dos perfis de sondagem que corroboraram as mesmas conclusões sobre as associações minerais. Na maior parte dos casos os perfis de sondagens retratam com sucesso as diferentes fases minerais associadas aos elementos em análise. Por exemplo, na presença de elevados teores de W, nas lâminas das amostras correspondentes à mesma profundidade, ocorre minerais de scheelite e/ou volframite. O mesmo acontece para os teores elevados de Sn que, em lâmina delgada, corroboram a presença de cassiterite (e, por vezes, estanita). Elevadas concentrações do grupo As+Ag+Bi+Cu+Zn coincidem com a ocorrência de sulfuretos como a arsenopirite, calcopirite, pirrotite, esfalerite, bismutinite, entre outros, e teores elevados de P geralmente estão associados à ocorrência de apatite. Em muitos casos, o P correlaciona-se com o grupo de As+Ag+Bi+Cu+Zn, correspondendo a zonas de alteração hidrotermal. O Mn é um elemento que provou não ser muito útil neste estudo em específico devido à sua distribuição algo errática, apesar da elevada presença registada de volframite do tipo hubnerite.

Foi também possível correlacionar, em alguns casos, indicadores geoquímicos da presença de uma ou outra fase mineral. Geralmente, a presença de teores elevados de W e P numa determinada profundidade correspondia à presença de scheelite+apatite em lâmina delgada. Concentrações de V, Nb e Sb são concordantes com a presença de óxidos de Ti em amostra. Em mais de um exemplo, foram

É então possível realçar nos perfis de sondagem, mesmo considerando o erro associado à dimensão da malha de estimação da krigagem, a localização aproximada de filões portadores das mineralizações principais de cassiterite e volframite \pm scheelite.



1. Mapas de pontos de amostragem

Os pontos de amostragem foram vectorizados de acordo com a sua localização e o tamanho do símbolo, que representa cada ponto de amostragem, corresponde ao teor de volfrâmio (Figura VIII.9).

Este tipo de representação permite identificar de forma expedita directamente as zonas de maior interesse para trabalhos de *follow-up*. No entanto está muito dependente do tipo de mineralização e da malha de amostragem que, tendo em conta que as metodologias de análise e recolha dos pontos de amostragem variou consideravelmente, neste caso pode não ser o indicador fiável. Não obstante, é possível definir um padrão concordante com as estruturas filonianas cartografadas e a região que

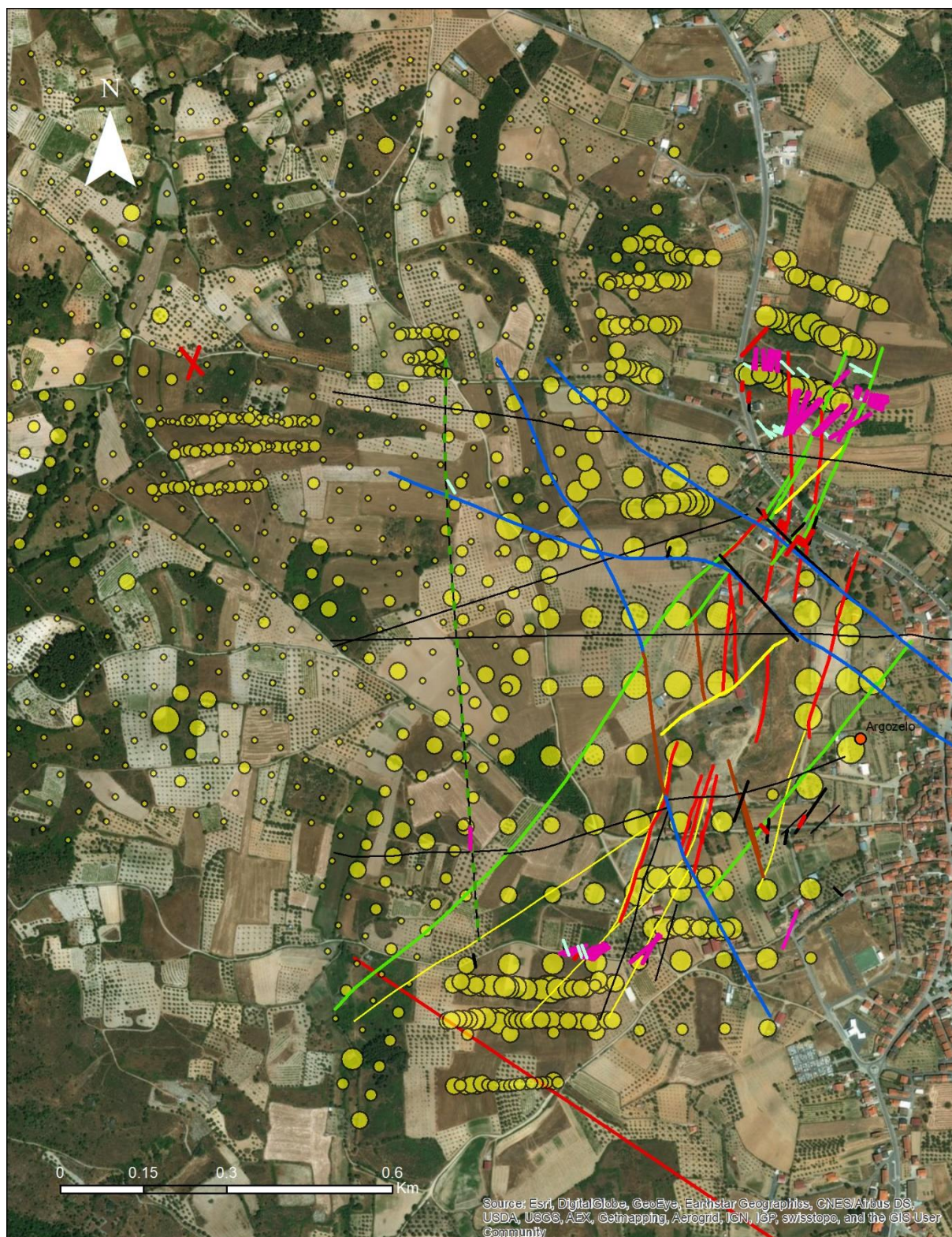


Figura VIII.9 - Mapa de amostras de solos de tungsténio e diferentes famílias de falhas cartografadas (azul e preto) e filões mineralizados (linhas a verde, amarelo, vermelho e castanho).

apresenta teores mais elevados que corresponde, naturalmente, à zona onde se encontram os filões mineralizados e as antigas escombreyras (zona E do sector mineiro).

2. Krigagem s/ anisotropia vs Krigagem c/ anisotropia

Numa primeira abordagem, optou-se por realizar uma krigagem totalmente automatizada pelo software, sem modificações empíricas de quaisquer dos parâmetros envolvidos no cálculo. Esta decisão resultou num mapa de contornos bastante básico, isto é, os contornos desenvolvem-se em volta dos pontos amostrados originando múltiplas circunferências de raios variáveis (definidos a partir dos teores analisados) contendo as concentrações do elemento analisado. A falta de informação, especialmente notada na região central de mapa, juntamente com o posicionamento das amostras (quando agrupadas entre as amostras EDM + IGM + Billington) traduz-se numa pior análise estrutural dos dados e, por isso, num variograma com uma interpretação bastante errática. Em função disso, foi

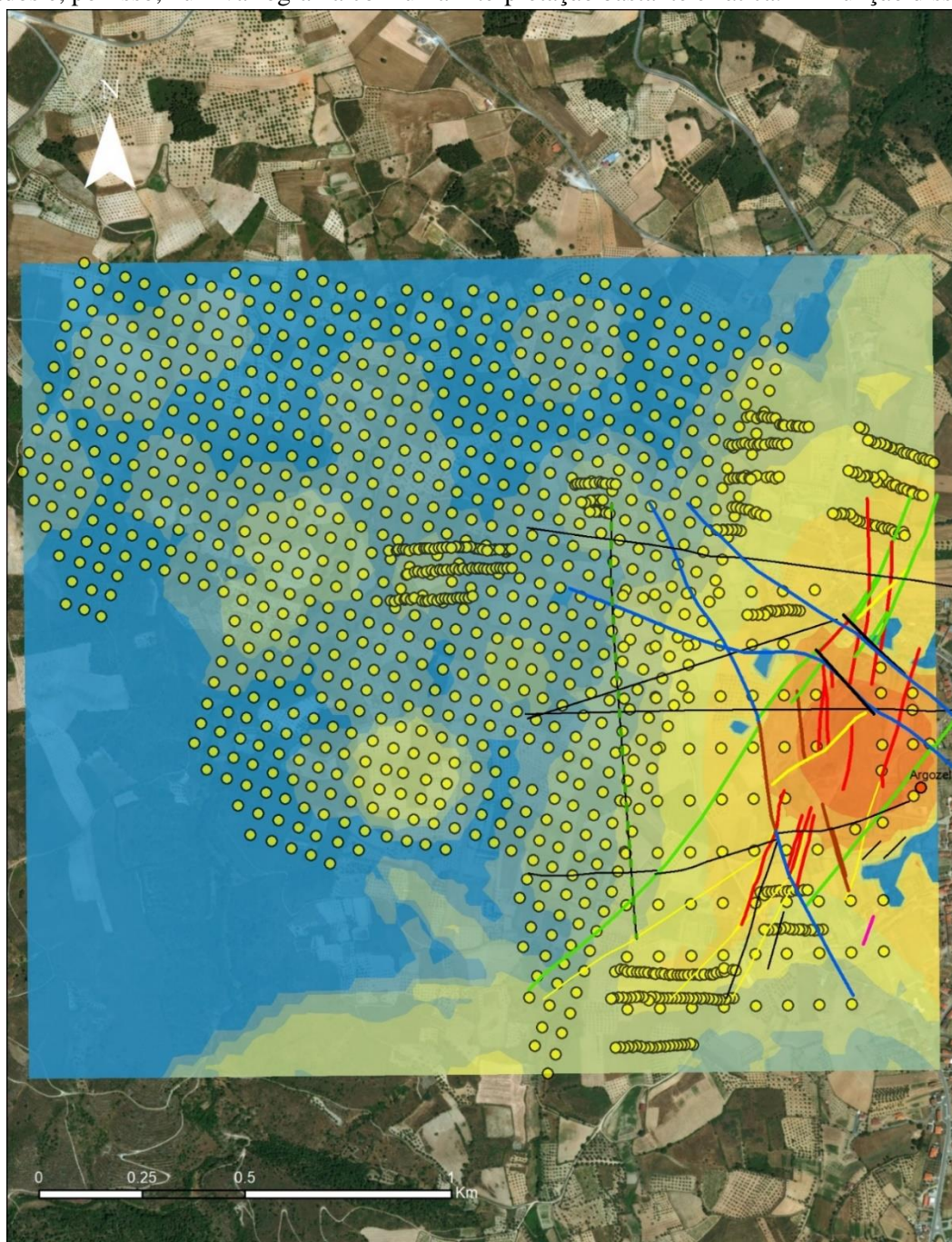


Figura VIII.10 - Mapa geoquímico de tungsténio resultante de Krigagem sem anisotropia.

necessário parametrizar não só o variograma como os parâmetros de pesquisa para a estimação espacial.

No mapa correspondente à krigagem sem anisotropia (Figura VIII.10) as anomalias geoquímicas estão isoladas por linhas de contorno circulares denotando uma grande anomalia na região este do mapa, que caracteriza as antigas escombreyras da mina de Argozelo. Para além de outros sinais incipientes, é possível, no entanto, notar algum tipo de *trend* local seguindo a orientação das estruturas filonianas, com a excepção de alguns artefactos numéricos que revelam anomalias segundo uma direcção que não é semelhante à esperada.

Um dos maiores desafios deste projecto foi lidar com a falta de informação geoquímica disponível para toda a região, tanto relativamente à amostragem de solos como ao número de sondagens disponíveis e sua localização. Para além disso, a distribuição dos pontos e sondagens amostradas pela EDM não se provou suficiente, até ao momento presente (em função dos objectivos de prospecção), para a realização de uma modelação 2D e 3D da distribuição elementar fidedigna para a região. Por isso, foi essencial, para a modelação 2D e 3D, que os dados pertencentes à Billington, SFM e IGM fossem incorporados na modelação por krigagem, juntamente com os dados da EDM, apesar de a dimensão dos pacotes analíticos não ser equiparável com as realizadas pela EDM.

Os perfis realizados pela EDM localizam-se na extensão, norte e sul, dos filões mineralizados conhecidos, deixando uma lacuna de amostragem na região central que pode ser parcialmente colmatada pela amostragem de solos realizada pelo IGM.

A oeste do pacote filoniano principal, encontram-se os pontos amostrados pela *Billington* que permite obter um bom contraste, entre a região de maior interesse e uma aparente região sem evidências de filões mineralizados.

A partir do mapa da Figura VIII.10, tomou-se a decisão de introduzir anisotropia à krigagem, correspondente à orientação média dos filões, já conhecidos e identificados, portadores da mineralização principal. O mapa com anisotropia acaba por dar uma representação mais aproximada da realidade geológica. Assim como se espera eliminar os artefactos numéricos contidos no mapa e definir para a krigagem uma interpolação geologicamente mais coerente com o conhecimento da região, realçando e melhorando a definição dos limites das anomalias geoquímicas expressas na modelação.

De forma a remover os valores de *background*, aplicaram-se os valores de *threshold* obtidos previamente em classes que categorizam as anomalias geoquímicas de W e Sn, ou outro elemento (Figura VIII.12).

A determinação do *threshold* assegura uma representatividade analítica que pode ser demonstrada em mapas, ou perfis, sinalizando locais de maior interesse geoquímico, e maximiza o contraste, isto é, providencia uma maior resolução dos valores anómalos em relação ao ruído analítico de fundo.

Tabela VIII.1 - Valores de threshold definidos para os mapas de geoquímica de solos. Threshold 1 = threshold regional; Threshold 2 = threshold local.

Sn	ppm	W	ppm
Threshold 1	27	Threshold 1	65
Threshold 2	64	Threshold 2	257

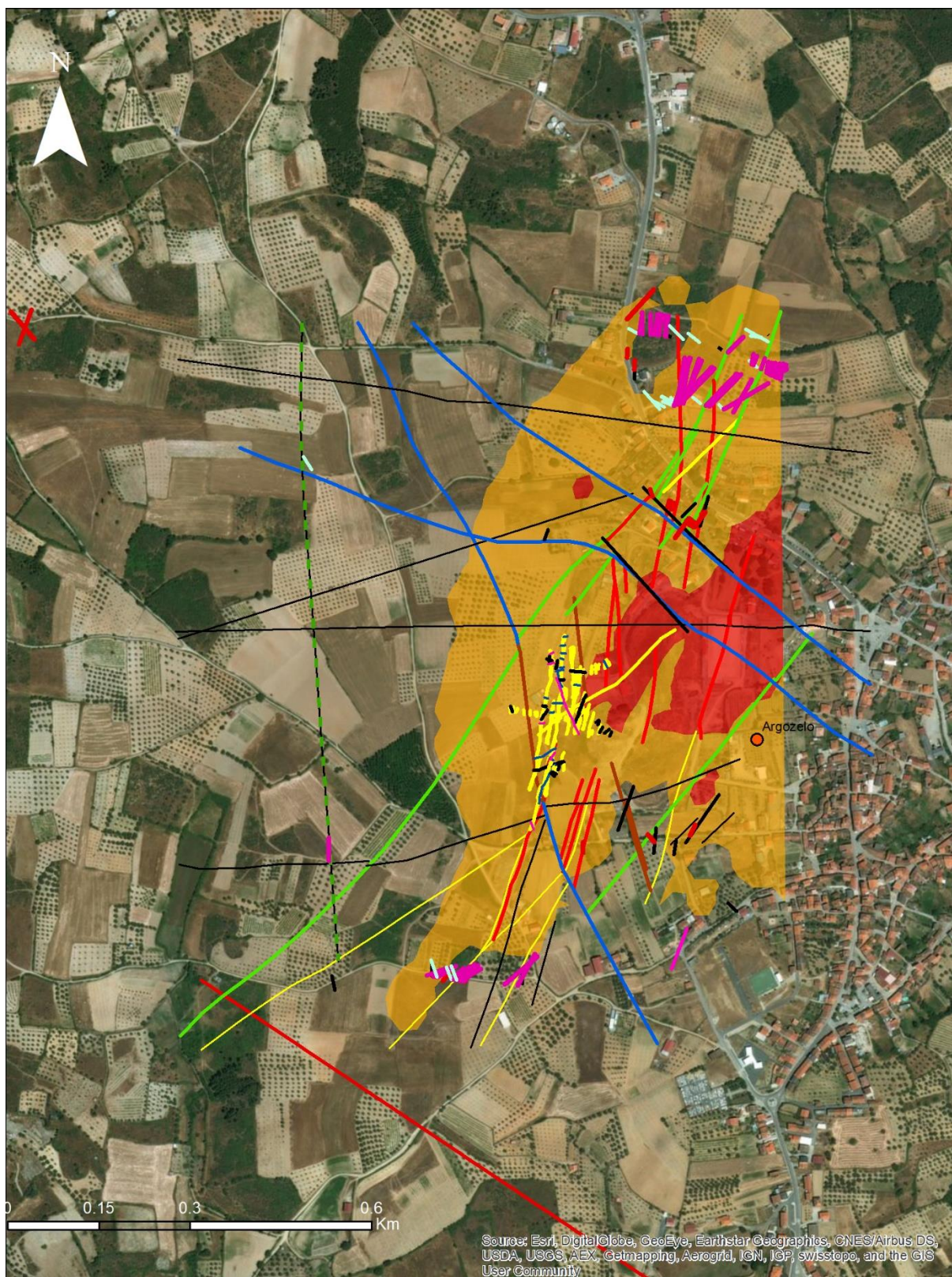


Figura VIII.11 - Mapa da anomalia geoquímica de W em Argozelo (*cut-off* 65 ppm – laranja; *cut-off* 257 ppm – vermelho), com base em amostras de solos, e estruturas tectónicas associadas (linhas verdes e amarelas = filões mineralizados; linhas azuis falhas).

Em vários casos, como para o W e o Sn, foi calculado com sucesso um *threshold* regional bem como um *threshold* local (Tabela VIII.1). Nas restantes situações e de acordo com a metodologia

adoptada neste trabalho (vide capítulo V e Figura VI.5), a determinação de teores de corte locais pode ser mais subjectiva (Anexo 8).

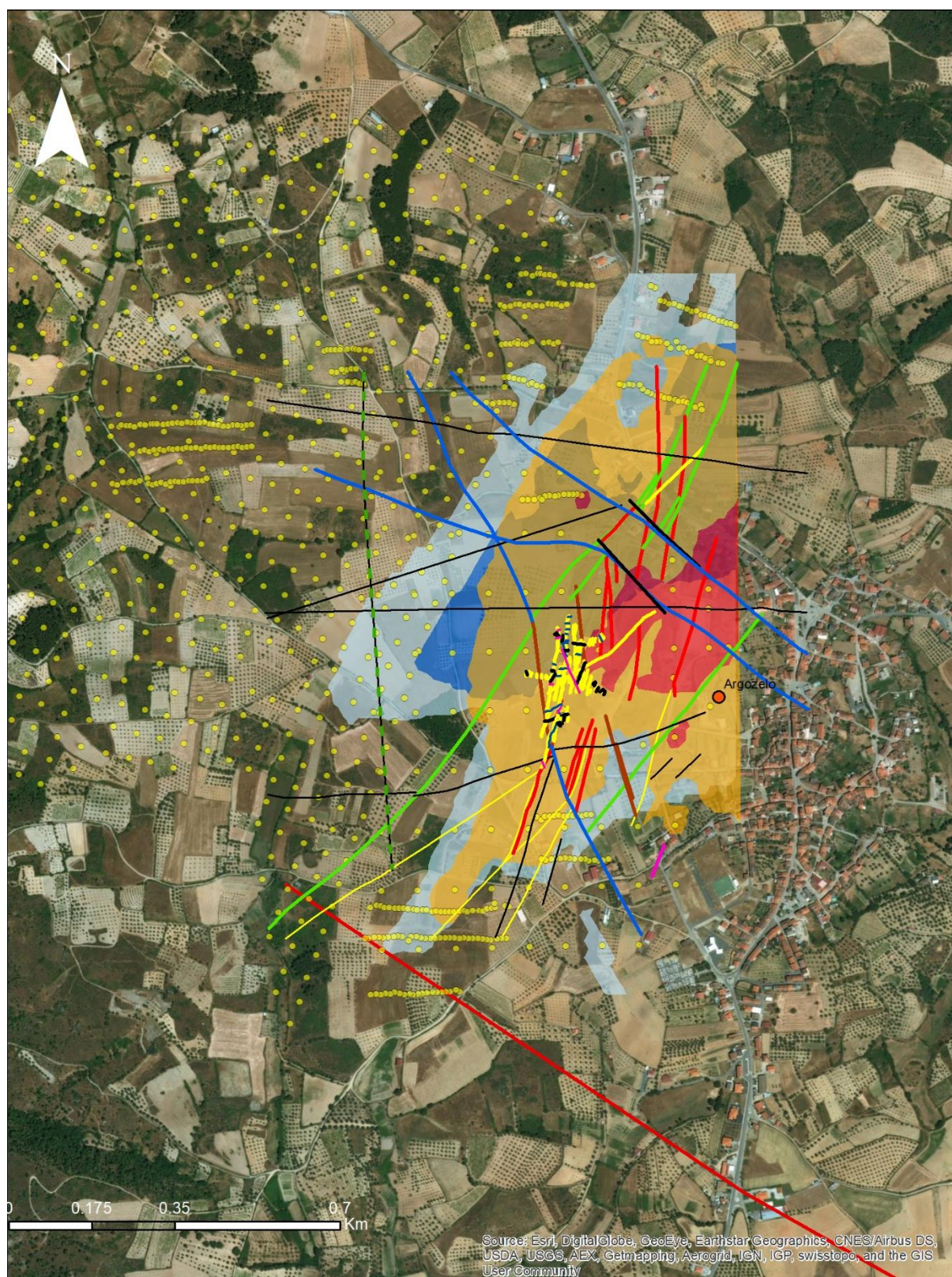


Figura VIII.12 - Mapa das anomalias geoquímicas de Sn (*cut-off* de 27 ppm – azul claro; *cut-off* de 64 ppm – azul escuro) e W (*cut-off* de 65 ppm – laranja; *cut-off* de 257 ppm – vermelho) em Argoselo, localização dos pontos amostrados e descontinuidades cartografadas à superfície e em profundidade.

O *threshold* foi calculado apenas para os elementos mais relevantes como: W, Sn, Ag, As, Bi, Li, Nb, P, Sb, Ta, Ti. Os valores de *threshold* regionais e locais assumidos para os mapas de Sn e W podem ser consultados nas Tabelas VIII.1 e VIII.2.

Nota-se uma disparidade na distribuição elementar de ambos relativamente aos *thresholds* locais significando que, em amostra de solo, o Sn e o W têm tendência a concentrarem-se em zonas diferentes (Figura VIII.12). É importante mencionar que o contorno referente ao *threshold* local de W na região central refere-se às amostras de escombreira. No entanto, relativamente aos *thresholds* regionais, ambos os elementos desenham padrões semelhantes, prolongando a distribuição para norte e para sul do pacote central de filões (já explorados).

Estes mapas dão ainda indicações de que a progressão de elevados teores de W e Sn seguem tendencialmente para norte, observando uma progressiva diminuição da anomalia para sul.

É também de notar que a disparidade entre Sn e W se deve provavelmente à falta de informação sobre o Sn, elemento que não foi analisado pelo IGM, responsável pela amostragem sobre o pacote central de filões.

B. Modelação 3D

O processo de construção da modelação em 3D dependeu de valores de *cut-off* que foram delimitados nos perfis de sondagem a partir dos veios intersectados pela sondagem (ou pacotes de veios representando um conjunto de veios mineralizados) que se sobrepõem com as zonas do perfil de sondagem que contêm valores de concentração elementar acima dos *thresholds* definidos para as sondagens. Estes foram calculados de forma semelhante aos *thresholds* para os dados de amostras de solos. No entanto não foi possível organizar os valores de concentração no *Target* de forma a realçar aqueles que são superiores ao

Tabela VIII.2 - Valores de threshold de W/Sn para as sondagens ARG:1503-1504-1505.

W	Threshold	Sn	Threshold
ARG1503	0.10%	ARG1503	0.40%
ARG1504	0.10%	ARG1504	0.22%
ARG1505	0.17%	ARG1505	0.07%

threshold calculado (diferente para cada sondagem). Assim, resolveu-se realçar as intersecções que se observam entre regiões de cada sondagem, através de polígonos, correspondentes aos intervalos de valores mais elevados e os veios mineralizados, intersectados pela sondagem.

Relações de intersecção que permitam identificar e traçar veios “alvo” (portadores de quantidades anómalas de metais) nem sempre são observadas em todas as sondagens, isto porque algumas foram analisadas com uma frequência menor e casos houve onde quaisquer dos valores de concentração obtidos para alguns dos elementos analisados numa determinada sondagem não são considerados anómalos. Por exemplo, a sondagem ARG1506 (Anexos 11 e 12), que atingiu uma profundidade superior a 260 metros, foram apenas analisadas 29 amostras, ou a sondagem ARG1501, que atingiu uma profundidade superior a 180 metros e apenas foram analisadas 12 amostras. Os perfis das

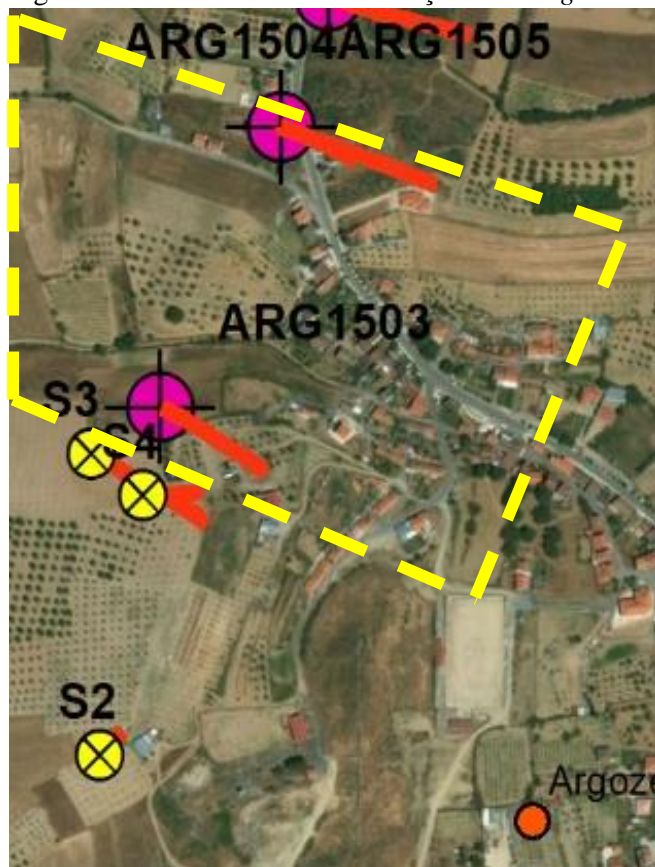


Figura VIII.13 - Área de mais elevado potencial, entre as sondagens ARG1503, ARG1504 e ARG1505.

sondagens ARG1503 e ARG1504-ARG1505 (Figura VIII.13) destacam uma área interessante onde não se concentraram muitos dos trabalhos de prospecção já desenvolvidos pela EDM ou por outra campanha

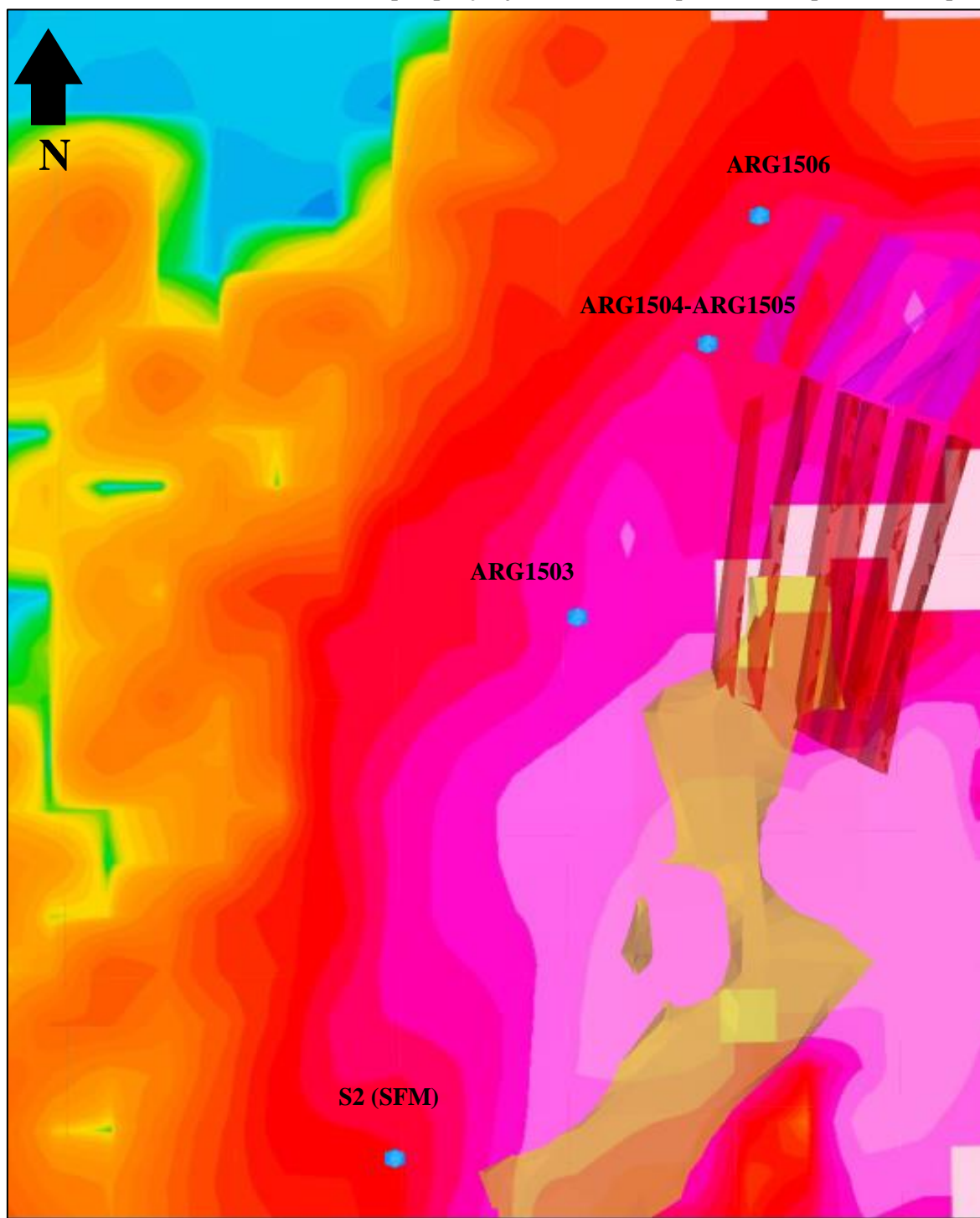


Figura VIII.14 - Mapa de anomalia geoquímica de W à superfície (realizado no Target) e modelos 3D de estruturas mineralizadas, entre as sondagens ARG1504-ARG1505 e ARG1506. Enquadramento dos filões "alvo" (a vermelho) à superfície.

mais antiga. Todas as 3 sondagens são igualmente profundas e foram extensivamente amostradas e analisadas, abrangendo pontos de recolha de amostras com um espaçamento intervalado que por vezes é encurtado ao ponto de admitir uma continuidade entre amostras adjacentes. É importante realçar o interesse sobre este exercício, puramente académico, da modelação 3D sobre a área entre as sondagens ARG1503, ARG1504 e ARG1505. O mapa produzido pretende dar alguma sensibilização no sentido de evidenciar a importância de novas campanhas de prospecção (principalmente orientadas para a

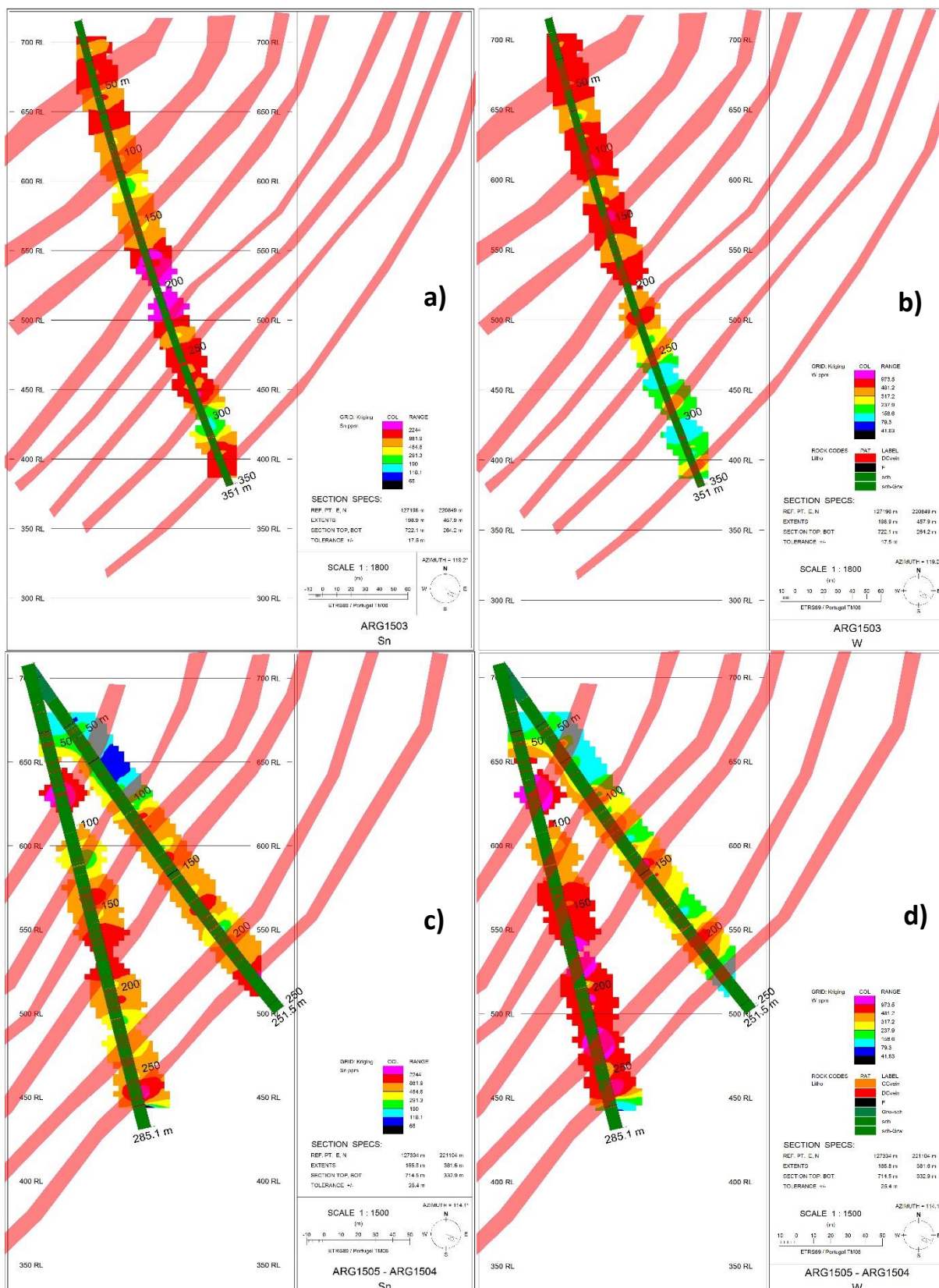


Figura VIII.15 - Polígonos de intersecções entre litologia e valores de concentração de Sn(a) e W(b), no perfil ARG1503. Polígonos de intersecção de Sn(c) e W(d) para as sondagens ARG1504 e ARG1505.

realização de novas sondagens) redireccionadas para uma região mais focalizada, orientando a pesquisa sobre uma área de mais de 60 000 m² que demonstrou, através da análise geoestatística e modelação de dados (Figura VIII.14), ter ainda um potencial para o prosseguimento de trabalhos de prospecção futuros

(Figura VIII.16). Deve, contudo, contrapor-se a incapacidade de produzir um mapa a 3 dimensões para a região de pesquisa em Argozelo, a partir de um número ainda reduzido de sondagens.

As estruturas filonianas interceptadas não permitem resolver adequadamente a geometria da estrutura mineralizada num mapa de reconhecimento geológico. Uma vez que o pacote filoniano interceptado contém veios de pequenas espessuras, que apesar de definirem a orientação média dos filões observados para a região, localmente apresentam uma grande variabilidade, em muitos casos assemelhando-se a veios anastomosados tal como os que se observam em zonas de *stockwork*. Em contrapartida, utilizaram-se as intersecções entre a ocorrência de estruturas filonianas interceptadas pela sondagem e as zonas da sondagem que detêm os teores mais elevados para um determinado elemento. A demarcação foi realizada no programa *Target*, cuja visualização 3D pode ser manipulada pelo utilizador. Optou-se, assim, por demarcar as zonas de interesse para cada sondagem seguindo as inclinações médias dos filões, embora se deva cuidar que as mesmas apresentem espessuras exageradas por razões práticas de visualização (Figura VIII.15).

A partir destas zonas demarcadas, o *Target* gera um modelo 3D que liga as demarcações de um perfil de sondagem a outro. O mapa desenvolvido cobre a área entre o perfil da sondagem ARG1503 e o perfil das sondagens ARG1504-ARG1505, para os elementos W e Sn.

O modelo gerado representa uma proposta teórica, embora de dimensões exageradas, de domínios com elevado potencial de integrarem veios mineralizados com concentrações anómalas de W e Sn, designados como “alvo” para trabalhos de prospecção que venham a ser propostos em campanhas futuras realizadas nesta região (Figura VIII.16). É importante notar que a ligação directa das estruturas intersectadas nas sondagens ARG1503 e na ARG1504-ARG1505, pode ser abusiva, uma vez que existe um controlo estrutural evidenciado em trabalhos prévios de Coteló Neiva que fez o levantamento dentro da mina e que demonstra o rejeito das estruturas filonianas por falhas (Figura VIII.9).

A extensão dos filões proposta é suportada pelos trabalhos resultantes da modelação 2D, para os solos, mas também pela modelação geoquímica realizada previamente no piso 6 das antigas galerias de Argozelo.

A modelação 3D produzida pela EDM, que incide principalmente na região já explorada, mas também incorpora o desenvolvimento de modelos representativos de “pacotes” de veios a norte e a sul da região central, concorre para a consubstanciação da atitude dos filões gerados no modelo concebido. Assim, combinando a informação conhecida com os modelos anteriores, incluindo os de amostras de solos desenvolvidos neste projecto, demonstra a importância desta informação na construção do mapa 3D e sua plausibilidade geológica.

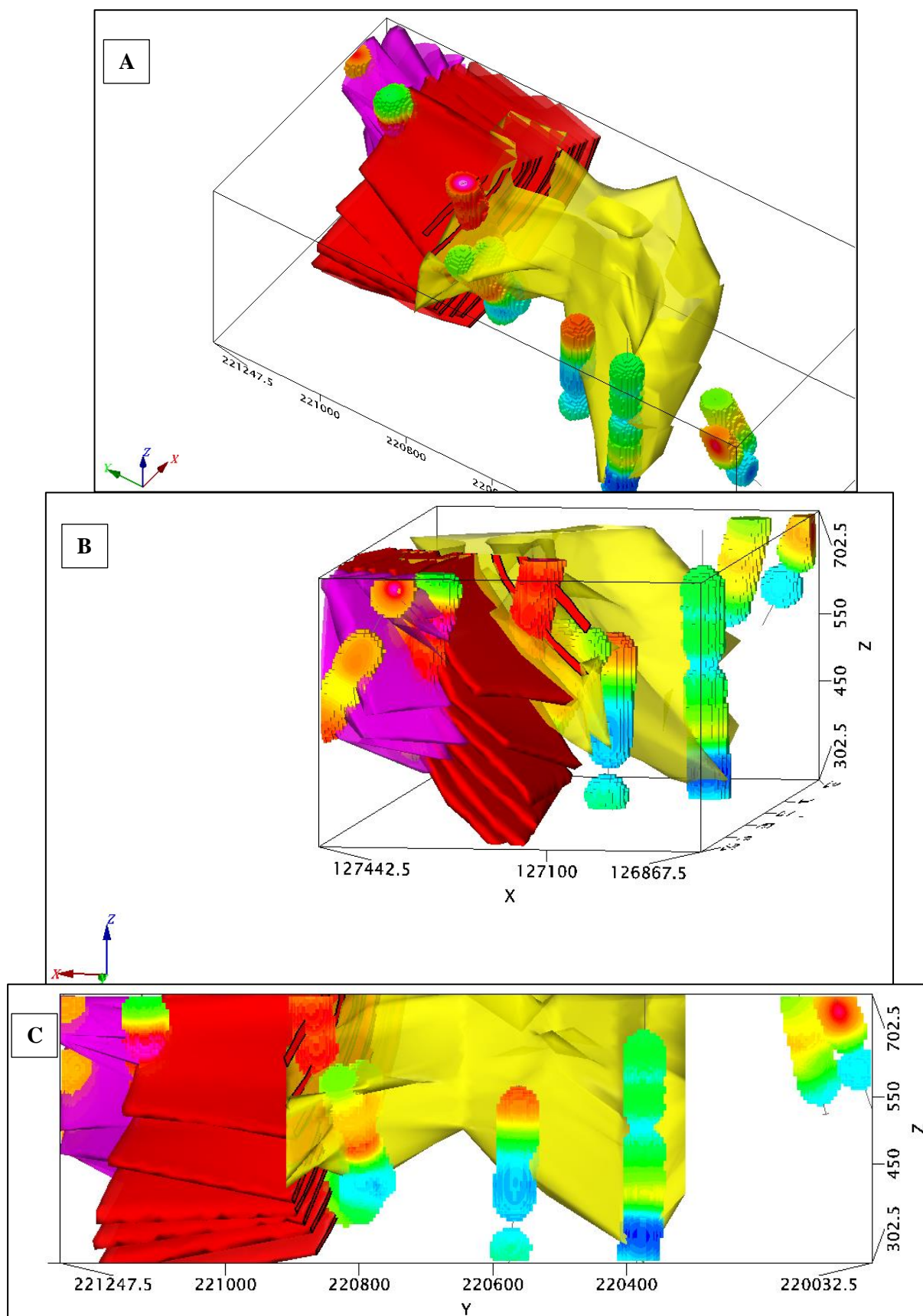


Figura VIII.16 - Modelo 3D interpretativo da localização de filões "alvo" potencialmente portadores de concentrações significativas de mineralização de estanho e volfrâmio (a vermelho) e figuras *voxel* (ao longo das sondagens projectadas) de modelação geoquímica das sondagens. O modelo de cor amarela representa os trabalhos de exploração já efectuados e os modelos de cor rosa simbolizam a progressão de veios mineralizados em pacotes. A) O eixo X representa o norte; B) Vista de norte para Sul; C) Vista do modelo de oeste para este.

IX. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O jazigo de Argozelo é uma estrutura complexa composta por filões mineralizados principalmente por scheelite, wolframite e cassiterite, com sobreposição de fases sulfuretas como a arsenopirite, pirite e calcopirite e ainda a presença abundante de apatite resultante de reacções de alteração hidrotermal associadas ao evento mineralizante.

As relações paragenéticas são múltiplas e variadas e encontram-se evidências das mesmas tanto analiticamente como na observação microscópica das amostras. Isto poderá significar que o desenvolvimento do jazigo resulta de um refinamento que, ao longo do tempo, foi responsável pelo enriquecimento de fases minerais portadoras de W e Sn, ou que a génese dependeu de poucos impulsos provenientes de um plutão mais evoluído, já enriquecido nos constituintes dessas fases minerais.

Tendo em conta o contexto geológico da região, foi definida a possibilidade de continuidade do projecto, baseando-se no conhecimento geológico corrente e adquirido neste trabalho. Como a mineralização se encontra fundamentalmente em determinadas famílias de filões, é expectável que a progressão dos mesmos deverá caracterizar o desenvolvimento da mineralização. Assim, a prioridade deverá passar pelo reconhecimento dos limites desse desenvolvimento filoniano e da progressão dos teores dentro desses limites.

Na prospecção em jazigos filonianos a amostragem de solos em perfis perpendiculares aos filões constitui porventura a técnica mais comum de abordagem. Ao introduzir uma anisotropia na distribuição espacial das amostras, a krigagem realizada em software de sistema de informação geográfica (*ArcGIS*) reflecte essa direcção de anisotropia correspondente à direcção dos perfis de amostragem, pelo que há necessidade de introduzir a direcção real correspondente aos filões mineralizados, que nesta região se concentram principalmente em estruturas de direcção próxima a N25°E. Desta forma, garante-se que a predição das zonas mineralizadas é concordante com o conhecimento geológico da região.

A análise multifractal, nomeadamente, a determinação das relações concentração/área, relações concentração/comprimento linear (no caso dos perfis de sondagem) e respectivos espectros multifractais, foram efectuados com base no conjunto de pontos amostrados e estimados, tendo como objectivo a viabilização da metodologia de cálculo em virtude da escassez de pontos amostrados.

Os resultados obtidos a partir das análises de geoquímica elementar da amostragem de solos e sondagens, concorrem para a ideia de um incremento dos teores médios de concentração de W e Sn, máximos e mínimos, bem como os próprios *thresholds* de sul para norte podendo constituir como um indicador da distância ao plutão. A diferenciação entre amostras de sondagens realizadas a sul e a norte, visível pelo gráfico entre o *Isw* e *Ibm*, juntamente com o decréscimo de correlação aparente entre o grupo de elementos caracterizadores de pegmatitos do tipo LCT sugerem também o afastamento progressivo à fonte dos metais, de sul para norte. A norte, os teores de W e Sn mantêm-se relativamente elevados e acima do *threshold* regional (65 ppm para o W e 27 ppm para o Sn), o que permitiu definir teores de corte locais de 257 ppm e 64 ppm para o W e Sn, respectivamente. No entanto a quantidade de informação geoquímica a norte é maior, do que a sul e, por isso, as conclusões registadas neste projecto poderão resultar de algum enviesamento induzido pela heterogeneidade da distribuição das amostragens e das sondagens.

Em análises de rocha total, a caracterização de domínios de fases hubneríticas através da relação W vs Mn/Mn+Fe foi bastante difícil e inconclusiva. No entanto, a relação entre W e P demonstrou observações interessantes do ponto de vista da utilização do P como indicador geoquímico de diferentes fases minerais de W.

A modelação 2D permitiu observar que os domínios anómalos, tanto de W como de Sn, restringem-se na zona E do sector mineiro, englobando os perfis “Argozelo N”, “Paio N” e “Argozelo S”, enquanto que na zona oeste, apesar da presença pontual de W e Sn nos perfis “Brecha N”, “Brecha S” e “Filões S”, o potencial de progressão de domínios anómalos é bastante menor.

O modelo 3D obtido foi desenvolvido sobre a área entre o perfil da sondagem ARG1503 e o perfil das sondagens ARG1504-ARG1505, situado na zona norte e com dimensão superior a 60 000 m². A modelação das concentrações elementares de Sn e W, teve em conta as relações teor-litologia (veios intersectados) observadas durante a elaboração dos perfis de sondagem e os resultados da modelação 2D, de geoquímica de solos. A partir da produção do mapa 3D recomenda-se que projectos de prospecção futuros devem concentrar a execução de amostragens e sondagens complementares entre as sondagens ARG1503 e ARG1504-1505 (Figura VII.15), onde os teores de Sn e W ultrapassam o *threshold* regional definido para as amostras de solos (Figura VII.13).

Existe uma convicção de que as aproximações e soluções propostas para a determinação dos parâmetros da krigagem e na modelação de variogramas que concorrem para a modelação em 3D, contém muitas limitações e não estão totalmente isentas de falta de representatividade, não deixam de representar uma abordagem com resultados práticos relevantes complementares a um projecto de prospecção e que pode servir de suporte aos problemas em aberto, cujos resultados deverão ser sujeitos a validação em trabalhos futuros. Por fim, refira-se que devido à pouca informação disponível para a região de Argozelo, para os objectivos inicialmente enunciados para este relatório de estágio, a geração de um modelo 3D da geoquímica elementar baseado apenas em 6 sondagens seria comprometedor e contraproducente dos objectivos previamente estabelecidos para o projecto.

BIBLIOGRAFIA

Adam, D. (1983a). *Etude pétrographique et structurale de deux massifs granitiques au Nord-Est du Portugal. Relations avec la genèse des minéralisations d'étain-tungstène*. D.E.A., univ. Nancy I, 68pp.

Adam, D. (1983b). *Contribution à l'étude géologique de la mine d'Argozelo (Trás os Montes, Portugal)*. Univ. de Nancy I, "Laboratoire de pétrologie structurale et métallogénie", 38pp.

British Geological Survey. (2011). *Tungsten*. British Geological Survey.

Burnham, C.W. (1967). Hydrothermal fluids at the magmatic stage. In Barnes, H.L. (ed.). *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. (first edition). New York. Holt, Rinehart & Wiston. 34-76

Carranza, E. J. M. (2008). *Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS* (Vol. 11). Elsevier.

Cheng, Q., Agterberg, F. P., & Ballantyne, S. B. (1994). *The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods*. Journal of Geochemical Exploration, 51(2), 109-130.

Cheng, Q., & Agterberg, F. P. (1996). *Multifractal modeling and spatial statistics*. Mathematical Geology, 28(1), 1-16.

Cheng, Q. (1999). *Multifractality and spatial statistics*. Computers & Geosciences, 25(9), 949-961.

Cheng, Q. (2007). *Mapping singularities with stream sediment geochemical data for prediction of undiscovered mineral deposits in Gejiu, Yunnan Province, China*. Ore Geology Reviews, 32(1-2), 314-324.

Coelho, J. (1993). *Os "skarns" cálcicos pós-magmáticos, mineralizados em scheelite, do distrito mineiro de Covas, VN Cerveira (N Portugal)*. (Doctoral dissertation, Tese de doutoramento, Univ. Porto, 328p).

Dallmeyer, R. D., & Garcia, E. M. (Eds.). (2012). *Pre-mesozoic geology of Iberia*. Springer Science & Business Media.

Davis, J. C., (2002). *Statistics and data analysis in geology, 3rd edition* (Vol. 656). New York et al.: Wiley.

Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., & Kullberg, J. C. (2013). *Geologia de Portugal. Vol. I: Geologia Pré-mesozóica de Portugal*.

Eadington, P. J. (1983). *A fluid inclusion investigation of ore formation in a tin-mineralized granite, New England, New South Wales*. Economic Geology, 78(6), 1204-1221.

EDM (Ago 2012). *1º relatório semestral de actividades de 2012 da área de prospecção e pesquisa Argozelo*. 38 pp.

EDM (Ago 2013). *1º relatório semestral de actividades de 2013 da área de prospecção e pesquisa Argozelo*. 31 pp.

EDM (Ago 2014). *1º relatório semestral de actividades de 2014 da área de prospecção e pesquisa Argozelo*. 52 pp.

EDM (Ago 2015). *1º relatório semestral de actividades de 2015 da área de prospecção e pesquisa Argozelo*. 44 pp.

EDM (Ago 2016). *1º relatório semestral de actividades de 2016 da área de prospecção e pesquisa Argozelo*. 41 pp.

Elliott, J. E., Kamilli, R. J., Miller, W. R., & Livo, K. E. (1995). *Vein and greisen Sn and W deposits. Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposits models*. United States Geological Survey, Denver, 62-69.

Gaspar, L. (1997). *Contribuição para o estudo das mineralizações de volfrâmio (W), estanho (Sn) e lítio (Li) do sector Barca de Alva–Escalhão*. FCUL Master Thesis, 267p. Lisboa, Portugal.

Gonçalves, M. A., & Mateus, A. (2000). *Análise geoestatística e multifractal da geoquímica de solos de Odivelas (Ferreira do Alentejo)*.

Gonçalves, M. A., Mateus, A., Pinto, F., & Vieira, R. (2018). *Using multifractal modelling, singularity mapping, and geochemical indexes for targeting buried mineralization: Application to the W-Sn Panasqueira ore-system, Portugal*. Journal of Geochemical Exploration, 189, 42-53.

Govett, G. J. S., Goodfellow, W. D., Chapman, R. P., & Chork, C. Y. (1975). *Exploration geochemistry—distribution of elements and recognition of anomalies*. Journal of the International Association for Mathematical Geology, 7(5-6), 415-446

Heinrich, C. A. (1990). *The chemistry of hydrothermal tin (-tungsten) ore deposition*. Economic Geology, 85(3), 457-481.

Marques, F.O., Mateus, A., Tassinari, C.C. (2002). *The Late-Variscan fault network in central-northern Portugal (NW Iberia): a re-evaluation*. Tectonophysics, vol. 359, pp. 255-270.

Mateus, A. (1995). *Evolução tectono-térmica e potencial metalogénico do troço transmontano da Zona da Falha Manteigas-Vilariga-Bragança*. Tese de Doutoramento, Univ. Lisboa, 1-195 (Vol. I), 1-994 (Vol. II).

Mateus, A., Noronha F. (2001). *Late-Variscan crustal uplift of the Iberian Terrane as a response to isostatic rebound; implications for the brittle-ductile transition, fluid circulation and metallogeneses*. Mem. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Porto, vol.7, pp. 295-298.

Mateus, A., & Noronha, F. (2010). *Sistemas mineralizantes epigenéticos na Zona Centro-Ibérica; expressão da estruturação orogénica Meso- a Tardi-Varisca. Ciências Geológicas-Ensino e Investigação e sua história*. Volume II, Geologia Aplicada.

Mandelbrot, B. B. (1983). *The fractal geometry of nature/Revised and enlarged edition*. New York, WH Freeman and Co., 1983, 495 p.

Neiva, A. M. R. (2008). *Geochemistry of cassiterite and wolframite from tin and tungsten quartz veins in Portugal*. Ore geology reviews, 33(3-4), 221-238.

Pabalan, R. T. (1986). *Solubility of Cassiterite (SnO₂) in NaCl Solutions from 200 °C-350 °C, with Geologic Applications* (Doctoral dissertation, Pennsylvania State University), 140 pp.

Parra, A. (1991). *Estrutura, Mineralização e Génese da jazida estanho-tungstífera de Argozelo*. Direcção-Geral de Geologia e Minas, Serviço de Fomento Mineiro, 10 pp.

Pereira, E. (2006) – Carta Geológica de Portugal, Escala 1:200.000. Notícia Explicativa da Folha 2. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI). Lisboa.

Pereira, E., Ribeiro, A., Castro, P. (2000). Carta Geológica de Portugal à Escala 1:50.000. Notícia Explicativa da folha 7-D Macedo de Cavaleiros, Instituto Geológico e Mineiro.

Pereira, E., Ribeiro, A., & Meireles, C. (1993). *Cisalhamentos hercínicos e controlo das mineralizações de Sn-W, Au e U na Zona Centro-Ibérica, em Portugal*.

Reed B.L. (1986), *Descriptive model of Sn greisen deposits*, in Cox, D.P., and Singer, D.A., eds., Mineral deposit models: U.S.G.S. Bull. 1693, p. 70.

Ribeiro, A. (1974). *Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental*. Serv. Geol. Port., Mem. 24, 168pp.

Ribeiro, M. L. (2001). *Modelos de implantação dos granitos variscos Portugueses*. Memórias da Academia das Ciências, 39, 33-52.

Rodrigues, J. F., Pereira, E., & Ribeiro, A. (2006a). *Sucessão parautoctone da Zona Galiza-Trás-os-Montes: Singularidade paleogeográfica versus complexidade tectónica*. In VII Congresso Nacional de Geologia, Universidade de Évora, Estremoz (Vol. 1, pp. 115-118).

Rodrigues, J. F., Ribeiro, A., & Pereira, E. (2006b). *Mecânica da instalação dos Mantos Parautoctones do NE de Portugal como critério de divisão tectonoestratigráfica*. In VII Congresso Nacional de Geologia (Vol. 1, pp. 119-122).

Schertzer, D., & Lovejoy, S. (1991). Nonlinear variability in geophysics (p. 318). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Sinclair, A. J. (1974). *Selection of threshold values in geochemical data using probability graphs*. Journal of Geochemical Exploration, 3(2), 129-149.

Sinclair, A. J. (1976). *Applications of probability graphs in mineral exploration (No. 4)*. Association of Exploration Geochemists.

Sinclair, A. J. (1991). *A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry: probability plots revisited*. Journal of Geochemical Exploration, 41(1-2), 1-22.

Solomon, M. S., Collins, P. L. F., Etheridge, M. A., Halley, S., Hellsten, K. J., Higgins, N. C., and Wall, V. J., 1986, *Formation of the Aberfoyle and Lutwyche cassiterite-wolframite veins, Tasmania, Australia: Terra Cognita*, v. 6, p. 531-532.

Štemprok, M. (1990). *Solubility of tin, tungsten and molybdenum oxides in felsic magmas*. Mineralium Deposita, 25(3), 205-212.

Sterpin, M. (1983). *Etude tectonique du gisement d'Argozelo – Rapport de Mission*. Ref. Géomines 12.639/83.

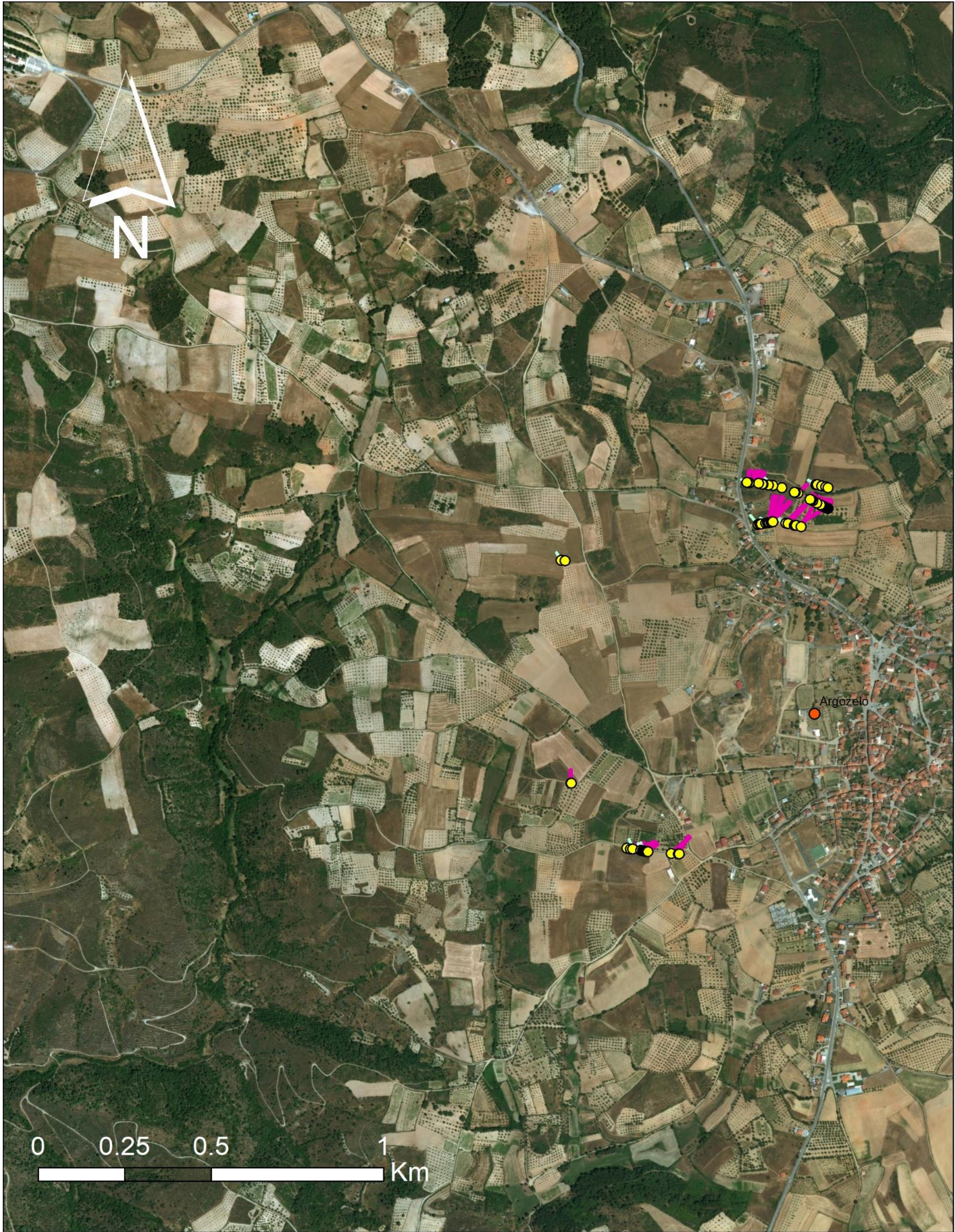
Taylor, J. R., Wall, V. J., and Bloom, M. S. (1984) *The mobilisation of tin from granitoid magmas*. Geol. Soc. Australia abs., v. 12, p. 514.

Taylor, J. R., (1988) *The partitioning of tin from granitic magmas*: Unpub. Ph.D. thesis, Melbourne, Monash Univ., 223 p.

Tkachev, A. V. (2011). *Evolution of metallogeny of granitic pegmatites associated with orogens throughout geological time*. In: Sial, A. N., Bettencourt, J. S., De Campos, C. P. & Ferreira, V. P. (eds) *Granite-Related Ore Deposits*. Geological Society, London, Special Publications, 350, 7–24.

Yamamoto, J., & Landim, P. (2013). *Geoestatística. Conceitos e Aplicações*. Editora Oficina de Textos, 215 pp.

Anexo 1 – Localização geográfica de sanjas realizadas pela EDM



Anexo 2 – Tabelas de estatística descritiva das amostras de solos e sondagens

SOLOS																			
Estatística Descritiva:	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe %	Ga	Ge	Hf	In	La	Li	Mn
Média	0.17	219.71	570.60	4.14	0.93	0.16	#####	15.46	65.11	64.41	56.91	39465.23	22.99	0.23	3.74	0.08	48.11	116.43	712.93
Mediana	0.13	155.00	560.00	3.56	0.63	0.09	99.50	14.90	65.00	44.45	43.80	38800.00	22.90	0.21	3.70	0.07	47.25	101.50	679.50
Mínimo	0.02	7.40	330.00	1.91	0.19	0.02	39.20	4.10	51.00	11.70	22.60	28700.00	15.75	0.05	2.80	0.04	16.70	35.70	190.00
Máximo	1.56	1610.00	870.00	11.80	7.05	7.88	#####	35.30	82.00	247.00	469.00	55900.00	31.30	0.82	4.80	0.42	76.60	327.00	1610.00
Amplitude	1.54	1602.60	540.00	9.89	6.86	7.86	#####	31.20	31.00	235.30	446.40	27200.00	15.55	0.77	2.00	0.38	59.90	291.30	1420.00
Desvio Padrão	0.15	242.15	82.53	1.85	0.93	0.45	19.31	4.17	5.47	52.86	47.95	4398.61	2.02	0.09	0.31	0.03	9.54	61.69	212.30
Variância	0.02	58637.05	6811.45	3.43	0.86	0.20	#####	17.39	29.89	2794.16	2299.61	19347807.73	4.06	0.01	0.10	0.00	91.05	3805.94	45072.80
Assimetria	4.42	2.44	0.75	1.64	3.30	14.88	0.60	1.10	0.26	1.17	4.78	0.88	0.18	1.95	0.29	6.24	0.38	1.11	1.08
Curtose	32.44	8.04	1.28	2.54	14.48	253.22	1.10	2.53	0.09	0.56	29.27	1.44	1.01	7.00	0.63	59.01	0.43	0.64	2.08

SOLOS																							
Estatística Descritiva:	Mo	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	Sb	Sc	Se	Sr	Ta	Te	Th	Ti %	Tl	U	V	Y	Zn	Zr	Sn	W
Média	0.40	15.85	33.25	492.24	42.91	191.37	0.00	4.12	13.94	1.14	31.31	1.18	0.05	14.12	4364.08	1.45	3.33	80.42	20.78	146.40	121.80	25.94	35.53
Mediana	0.39	15.80	32.70	480.00	30.80	178.25	0.00	2.93	13.70	1.00	29.55	1.18	0.05	14.00	4370.00	1.23	3.20	79.00	18.85	112.00	121.00	17.00	19.00
Mínimo	0.06	11.80	16.00	200.00	10.20	107.50	0.00	1.03	9.60	1.00	14.00	0.93	0.05	7.80	3070.00	0.67	2.00	62.00	9.40	58.00	95.50	04.00	02.00
Máximo	1.32	19.70	52.40	890.00	761.00	365.00	0.03	38.10	21.20	3.00	81.50	1.42	0.13	20.20	5150.00	3.64	5.60	112.00	45.20	1120.00	157.00	238.00	576.00
Amplitude	1.26	7.90	36.40	690.00	750.80	257.50	0.03	37.07	11.60	2.00	67.50	0.49	0.08	12.40	2080.00	2.97	3.60	50.00	35.80	1062.00	61.50	234.00	574.00
Desvio Padrão	0.16	1.18	5.21	142.96	52.39	50.47	0.00	4.34	1.48	0.35	9.91	0.09	0.01	1.78	270.67	0.65	0.60	7.19	6.81	111.42	10.45	26.31	52.23
Variância	0.03	1.40	27.19	20438.19	2744.63	2546.91	0.00	18.88	2.20	0.13	98.28	0.01	0.00	3.18	73263.99	0.43	0.36	51.75	46.37	12415.19	109.11	692.38	2728.35
Assimetria	0.96	0.17	0.46	0.23	8.68	1.10	17.23	4.54	0.71	2.30	1.46	-0.02	3.68	0.44	-0.25	1.21	0.85	0.64	1.31	4.69	0.23	03.04	05.15
Curtose	2.70	0.55	0.74	-0.49	105.34	0.87	311.79	26.13	1.81	4.02	3.49	0.27	16.00	1.21	1.28	0.59	0.96	1.09	1.36	28.93	0.26	14.95	40.56

SONDAGENS																			
Estatística Descritiva:	Cu ppm	Zn ppm	Co ppm	Ni ppm	As ppm	Ag ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Cd ppm	Ga ppm	Li ppm	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm
Média	688.70	1783.70	15	40.77	6115.65	03.53	589.52	23.67	12.79	24.05	20.78	408.93	870.32	01.15	2095.00	15.80	07.72	11.53	173.25
Mediana	258.00	893.00	15.00	39.00	3745.00	02.00	559.00	16.80	07.10	14.50	20.80	396.00	804.00	01.00	1700.00	11.50	04.10	11.00	155.00
Mínimo	12.00	52.00	05.00	08.00	18.00	00.50	183.00	03.20	00.20	00.50	09.20	61.00	332.00	00.50	450.00	03.00	00.60	05.00	08.00
Máximo	15500.00	18200.00	30.00	86.00	51700.00	50.50	1910.00	767.00	79.20	228.00	40.60	856.00	3790.00	05.50	10700.00	123.00	482.00	18.00	3100.00
Amplitude	15488.00	18148.00	25.00	78.00	51682.00	50.00	1727.00	763.80	79.00	227.50	31.40	795.00	3458.00	05.00	10250.00	120.00	481.40	13.00	3092.00
Desvio Padrão	1545.41	2467.76	05.23	12.82	7358.97	05.71	181.01	50.37	15.42	32.15	03.36	155.65	330.56	00.68	1540.31	15.41	30.34	02.23	222.95
Variância	2388290.95	6089826.74	27.36	164.38	54154483.98	32.56	32763.17	2537.36	237.73	1033.57	11.31	24226.29	109269.76	00.46	2372542.47	237.61	920.25	04.98	49708.03
Assimetria	06.37	03.19	-00.05	00.49	02.44	05.14	02.50	12.88	02.21	03.34	00.67	00.39	03.39	02.48	02.41	04.12	14.94	00.14	10.08
Curtose	50.08	14.24	-00.10	00.21	07.92	33.34	13.26	185.82	05.08	14.60	04.63	-00.17	23.63	11.37	08.27	21.13	233.23	00.13	122.95

SONDAGENS																					
Estatística Descritiva:	Sr ppm	V ppm	W ppm	Ta ppm	Y ppm	Hf ppm	Zr ppm	Nb ppm	La ppm	Ce ppm	Th ppm	U ppm	Rb ppm	In ppm	Te ppm	Cs ppm	Re ppm	Tl ppm	Cr ppm	Fe %	Ti %
Média	82.86	70.98	874.78	00.93	19.88	03.03	102.97	10.77	38.39	73.07	11.14	02.39	524.74	01.88	00.33	146.06	00.29	03.25	39.69	03.98	00.35
Mediana	72.00	70.00	353.50	00.80	19.60	03.00	102.50	11.00	38.60	72.00	10.90	02.40	530.50	00.26	00.40	139.50	00.20	03.30	40.00	03.87	00.35
Mínimo	28.00	25.00	07.00	00.40	07.20	00.80	31.00	04.00	08.30	17.30	03.70	00.90	144.00	00.02	00.20	08.60	00.10	00.90	20.00	02.01	00.10
Máximo	276.00	150.00	14900.00	17.10	30.00	06.00	218.00	30.00	56.90	109.00	18.80	03.60	1010.00	39.70	00.40	459.00	01.30	05.70	70.00	07.82	00.86
Amplitude	248.00	125.00	14893.00	16.70	22.80	05.20	187.00	26.00	48.60	91.70	15.10	02.70	866.00	39.68	00.20	450.40	01.20	04.80	50.00	05.81	00.76
Desvio Padrão	42.43	15.61	1711.93	01.08	03.59	00.62	21.34	02.31	06.54	12.13	02.24	00.36	155.49	04.59	00.10	69.38	00.27	00.86	09.34	00.85	00.06
Variância	1800.53	243.73	2930702.51	01.17	12.92	00.39	455.32	05.35	42.83	147.13	05.02	00.13	24177.28	21.06	00.01	4813.31	00.07	00.74	87.16	00.73	00.00
Assimetria	01.70	00.60	04.85	13.02	00.19	00.82	01.23	02.32	-00.30	-00.17	00.25	00.26	00.02	04.90	-00.97	00.70	02.17	-00.28	00.26	01.15	01.97
Curtose	03.29	02.06	29.07	192.65	00.32	03.39	06.27	18.11	01.86	02.09	00.51	01.82	-00.03	30.03	-01.88	01.03	05.35	00.01	-00.27	02.62	17.50

Anexo 3 – Matrizes de correlação de amostras de solos (EDM & IGM)

[illegible]

IGM	Ag	As	B	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	P	Pb	Sb	W	Zn
Ag	1															
As	0.305978	1														
B	-0.11515	0.330969	1													
Ba	-0.09661	-0.28425	0.074082	1												
Be	0.164734	0.791445	0.470363	-0.12618	1											
Cd	0.78371	0.359033	-0.07296	-0.09291	0.250394	1										
Cr	-0.09744	-0.40412	0.132351	0.321973	-0.35915	-0.10522	1									
Cu	0.284664	0.804788	0.249795	-0.18714	0.860805	0.319599	-0.42389	1								
Fe	0.094999	-0.01914	-0.07243	0.452488	0.131843	0.150086	0.170545	0.036564	1							
Mn	-0.1113	-0.24758	-0.06158	0.257819	-0.20531	-0.13346	0.11912	-0.33698	0.146551	1						
Ni	-0.00795	-0.33817	0.01385	0.349397	-0.23856	-0.03367	0.633375	-0.32804	0.343647	0.128744	1					
P	0.148533	0.801057	0.275294	-0.07512	0.636134	0.120375	-0.33417	0.655629	0.153683	-0.09347	-0.21676	1				
Pb	-0.08349	-0.186	-0.00524	0.110645	-0.21291	-0.07604	0.05624	-0.25021	0.26298	0.063009	0.156717	-0.0008	1			
Sb	0.03288	-0.00335	0.072984	-0.23847	-0.01221	0.043072	-0.11552	-0.05191	0.010061	0.053111	-0.03913	0.013446	0.102945	1		
W	0.071745	0.870443	0.378617	-0.27835	0.624347	0.06437	-0.29991	0.520187	-0.08146	-0.06999	-0.26762	0.758461	-0.12024	-0.05196	1	
Zn	0.072135	0.473161	0.094695	-0.07734	0.699703	0.085072	-0.38324	0.825511	0.053093	-0.14885	-0.28365	0.361076	-0.22934	-0.14823	0.289388	1

Anexo 5 – Matrizes de correlação das sondagens (ARG1501 – ARG1502)

ARG1501	Cu ppm	Zn ppm	Co ppm	Ni ppm	As ppm	Ag ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Cd ppm	Ga ppm	Li ppm	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm	Sr ppm	V ppm	W ppm	Ta ppm	Y ppm	Hf ppm	Zr ppm	Nb ppm	La ppm	Ce ppm	Th ppm	U ppm	Se ppm	Rb ppm	In ppm	Te ppm	Cs ppm	Re ppm	Tl ppm	Al %	Ca %	Na %	K %	S ppm	Cr ppm	Fe %	Mg %	Ti %	
Cu ppm	1																																															
Zn ppm	0.604849	1																																														
Co ppm	-0.07707	-0.07212	1																																													
Ni ppm	-0.11603	-0.01651	0.109774	1																																												
As ppm	0.924438	0.513483	0.03214	-0.03666	1																																											
Ag ppm	0.275402	0.450599	-0.17397	0.623317	0.381007	1																																										
Ba ppm	0.235121	-0.20878	-0.05092	0.364386	0.35475	0.543727	1																																									
Be ppm	0.365841	-0.36333	0.1716	-0.05576	0.561749	-0.13305	0.462038	1																																								
Bi ppm	0.488539	0.112344	0.193553	0.062667	0.556131	0.320046	0.785027	0.450123	1																																							
Cd ppm	0.616767	0.989189	-0.06283	-0.02699	0.511361	0.413472	-0.16447	-0.33484	0.191772	1																																						
Ga ppm	0.680952	0.093487	-0.07166	-0.00372	0.859472	0.364891	0.649556	0.800268	0.641542	0.09963	1																																					
Li ppm	0.893646	0.323288	-0.01615	-0.0446	0.953379	0.356367	0.494228	0.635688	0.57328	0.319263	0.903638	1																																				
Mn ppm	0.066663	-0.50725	0.181574	0.302268	0.285344	0.107111	0.7521	0.816551	0.621697	-0.44983	0.641485	0.364922	1																																			
Mo ppm	-0.35207	-0.53496	0.242065	-0.51249	-0.31216	-0.76798	-0.07226	0.332669	0.150474	-0.45583	-0.09304	-0.28623	0.314329	1																																		
P ppm	-0.03264	-0.2669	0.166662	0.15464	0.173575	0.247098	0.786019	0.483347	0.7663	-0.19785	0.508577	0.228515	0.765095	0.408728	1																																	
Pb ppm	0.400826	0.410627	-0.3792	-0.19901	0.500434	0.380947	-0.09395	0.027415	-0.11818	0.308299	0.406222	0.440453	-0.24787	-0.52376	-0.2812	1																																
Sb ppm	0.334068	0.813169	-0.04207	0.473246	0.251128	0.731282	0.011638	-0.52432	0.04222	0.795258	-0.07563	0.131693	-0.41076	-0.77045	-0.20007	0.172127	1																															
Sc ppm	0.428973	-0.04852	-0.17538	0.22442	0.659726	0.46291	0.619871	0.697455	0.475703	-0.06009	0.859788	0.667351	0.69519	-0.22771	0.414259	0.483029	-0.09482	1																														
Sn ppm	0.856031	0.871688	0.038862	-0.06809	0.831035	0.433082	0.079903	0.08859	0.400584	0.872528	0.507038	0.71204	-0.16092	-0.40797	0.00073	0.415171	0.619815	0.224863	1																													
Sr ppm	-0.02061	-0.71106	0.153794	-0.14082	0.153201	-0.36227	0.455889	0.87713	0.381879	-0.66528	0.531059	0.27894	0.841775	0.625457	0.576889	-0.21831	-0.80509	0.499812	-0.33114	1																												
V ppm	0.502637	0.116312	0.138975	0.270851	0.718982	0.570597	0.663498	0.600657	0.576795	0.116881	0.809931	0.731126	0.616065	-0.3351	0.417919	0.335502	0.150622	0.851103	0.400587	0.336799	1																											
W ppm	0.677427	0.336813	0.044194	0.125724	0.86646	0.397893	0.209587	0.590843	0.251752	0.280943	0.796245	0.812562	0.291684	-0.38908	0.068797	0.662587	0.147664	0.735646	0.620251	0.186894	0.690747	1																										
Ta ppm	0.42516	-0.05123	-0.19002	-0.16085	0.657227	0.13932	0.28386	0.768582	0.191277	-0.08287	0.833185	0.667393	0.491376	-0.03525	0.225408	0.594421	-0.29387	0.842701	0.259639	0.548052	0.667761	0.785779	1																									
Y ppm	0.073667	-0.60335	-0.04255	-0.26154	0.241886	-0.37507	0.192056	0.819732	0.107577	-0.61284	0.532679	0.332798	0.61274	0.395356	0.19925	0.204521	-0.81213	0.598944	-0.28851	0.856009	0.325417	0.402866	0.730892	1																								
Hf ppm	0.45909	0.052155	-0.31362	-0.23128	0.583805	-0.198099	0.458216	0.621986	0.340091	0.0774	0.776774	0.446016	0.022373	0.377729	0.292017	-0.11375	0.647008	0.346559	0.446613	0.617654	0.467144	0.789333	0.409671	1																								
Zr ppm	0.519151	0.003371	-0.57054	-0.34166	0.502942	-0.03373	0.154438	0.444351	0.142254	-0.00358	0.564199	0.532293	0.202671	-0.10084	-0.11847	0.574996	-0.29403	0.640275	0.157674	0.332738	0.363898	0.449027	0.69372	0.62356	0.567303	1																						
Nb ppm	0.591507	0.002589	-0.19124	-0.21147	0.749623	0.047878	0.238879	0.787303	0.233306	-0.02543	0.847977	0.77366	0.42848	-0.03028	0.139637	0.590627	-0.3042	0.779162	0.355073	0.539983	0.58463	0.829196	0.948792	0.743197	0.706603	0.758776	1																					
La ppm	0.369384	0.018232	-0.20919	-0.11681	0.537884	0.024424	-0.1037	0.557891	-0.1765	-0.06118	0.573158	0.511725	0.168148	-0.18922	-0.18696	0.7209	-0.23865	0.62776	0.216021	0.30269	0.365048	0.812081	0.849539	0.671119	0.427988	0.636027	0.871212	1																				
Ce ppm	0.250824	-0.07332	-0.11738	0.16055	0.463042	0.158251	-0.01071	0.567184	-0.22271	-0.15522	0.539301	0.456421	0.275181	-0.30102	-0.14637	0.601444	-0.151	0.662718	0.119058	0.305535	0.471784	0.803957	0.810948	0.616444	0.399112	0.480142	0.785437	0.940056	1																			
Th ppm	0.570624	0.041894	-0.38667	0.168269	0.663315	0.344873	0.388962	0.663315	0.209367	0.009839	0.81731	0.738864	0.459373	-0.31816	0.131212	0.563751	-0.05788	0.850708	0.328159	0.390289	0.617185	0.815464	0.855008	0.580231	0.650582	0.724408	0.893906	0.80877	0.809017	1																		
U ppm	0.242143	-0.2468	-0.25961	-0.08531	0.46606	0.133237	0.349275	0.6663	0.221813	-0.28303	0.705034	0.487243	0.547751	-0.02593	0.229094	0.601266	-0.42604	0.885615	-0.01603	0.579925	0.608198	0.635727	0.879578	0.817822	0.544125	0.769019	0.829877	0.773316	0.725244	0.783572	1																	
Se ppm																																																
Rb ppm	0.794187	0.260567	-0.01971	-0.25431	0.913161	0.126899	0.238836	0.712019	0.388762	0.237336	0.876743	0.90986	0.312448	-0.10468	0.138533	0.587549	-0.095	0.674518	0.634042	0.374027	0.615646	0.888664	0.829349	0.541511	0.639759	0.626901	0.924069	0.756299	0.639095	0.779503	0.648108																	
In ppm	0.720519	0.357948	-0.14261	-0.58958	0.715697	-0.14639	0.720596	0.563789	-0.08488	0.421016	0.68306	0.705966	0.312448	-0.10468	0.138533	0.587549	-0.095	0.674518	0.634042	0.374027	0.615646	0.888664	0.829349	0.541511	0.639759	0.626901	0.924069	0.756299	0.639095	0.779503	0.648108																	
Te ppm	0.156118	-0.17707	0.375823	-0.40396	0.111247	-0.46291	0.015754	0.299335	0.27916	-0.1475	0.103175	0.199271	0.098725	0.48795	-0.169718	-0.28624	-0.36914	-0.25926	0.078784	0.308139	-0.14674	-0.00953	-0.12039	0.208418	-0.13755	-0.17221	0.020686	-0.09233	-0.20115	-0.21858	-0.17712																	
Cs ppm	0.401216	-0.22973	0.063845	-0.19274	0.559695	-0.2509	0.039836	0.849708	0.056024	-0.25721	0.655484	0.584481	0.462924	0.150167	0.013708																																	

Anexo 6 – Matrizes de correlação das sondagens (ARG1503-ARG1504)

ARG1503	Cu ppm	Zn ppm	Co ppm	Ni ppm	As ppm	Ag ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Cd ppm	Ga ppm	Li ppm	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm	Sr ppm	V ppm	W ppm	Ta ppm	Y ppm	Hf ppm	Zr ppm	Nb ppm	La ppm	Ce ppm	Th ppm	U ppm	Se ppm	Rb ppm	In ppm	Te ppm	Cs ppm	Re ppm	Tl ppm	Al %	Ca %	Na %	K %	S ppm	Cr ppm	Fe %	Mg %	Ti %				
Cu ppm	1																																																		
Zn ppm	0.469183	1																																																	
Co ppm	-0.09953	0.009234	1																																																
Ni ppm	-0.02943	-0.14666	0.241637	1																																															
As ppm	0.063012	0.413699	0.005122	-0.18811	1																																														
Ag ppm	0.976981	0.524267	-0.05581	-0.02077	0.14867	1																																													
Ba ppm	0.080025	0.064289	0.06231	-0.15015	-0.02379	0.097007	1																																												
Be ppm	-0.09039	-0.02312	0.261862	0.07602	0.248005	-0.06487	0.026929	1																																											
Bi ppm	0.461352	0.375734	0.075028	0.029899	0.577691	0.566476	-0.12501	0.116551	1																																										
Cd ppm	0.521139	0.967062	0.006282	-0.10709	0.353012	0.580831	0.061957	-0.06697	0.41731	1																																									
Ga ppm	-0.07212	-0.01414	0.279571	0.198221	-0.11965	-0.05653	0.092396	0.120347	0.007116	-0.01029	1																																								
Li ppm	0.018919	0.168146	0.16199	0.009	0.299938	0.028028	0.100388	0.172524	0.055291	0.08792	0.448256	1																																							
Mn ppm	0.170333	0.324083	0.102459	0.052097	0.157987	0.193317	-0.13913	0.019624	0.308803	0.2418	0.286021	0.421831	1																																						
Mo ppm	0.080743	0.103277	-0.10926	0.126706	0.334245	0.13172	-0.36793	0.077645	0.379977	0.136414	-0.00895	-0.09216	0.050523	1																																					
P ppm	0.164566	0.155333	0.072581	0.00233	0.23712	0.199501	-0.14417	0.023904	0.28278	0.099091	0.442872	0.554064	0.550177	0.15806	1																																				
Pb ppm	0.194581	0.151762	0.041349	0.126317	0.119708	0.288778	-0.01817	-0.12034	0.418029	0.245971	0.063698	-0.16012	-0.0011	0.261915	0.086654	1																																			
Sb ppm	-0.02325	0.004008	-0.00637	-0.04614	0.07088	0.008273	0.020817	-0.06981	0.008316	0.005499	-0.04881	-0.03665	-0.04576	0.031892	-0.01593	0.079998	1																																		
Sc ppm	-0.01108	0.046517	0.423755	0.359073	-0.04324	0.004167	0.169079	0.234218	0.113783	0.045211	0.590146	0.261236	0.370082	-0.05237	-0.00436	0.069217	-0.06906	1																																	
Sn ppm	0.546496	0.256262	-0.16528	0.045401	0.09359	0.517163	-0.03779	-0.04395	0.273709	0.359797	0.022037	0.010317	-0.04277	0.246593	0.049381	0.050736	-0.00594	-0.09377	1																																
Sr ppm	-0.09837	-0.25862	-0.10044	-0.02518	-0.31617	-0.11412	0.04392	-0.09186	-0.24154	-0.24651	0.216129	-0.17514	-0.04458	0.079871	0.147781	-0.07208	-0.01453	-0.14173	-0.05745	1																															
V ppm	-0.06184	-0.04814	0.412862	0.327062	-0.18263	-0.0318	0.242594	0.108916	0.022753	-0.00895	0.611547	0.192879	0.093746	-0.10543	-0.04783	0.073301	-0.02647	0.819293	-0.11074	-0.09252	1																														
W ppm	0.080472	0.376607	-0.04046	-0.10981	0.179172	0.09607	-0.07456	0.008529	0.218674	0.313766	-0.07012	0.13605	0.737498	-0.01531	0.126104	-0.00887	-0.02429	0.291495	-0.03948	-0.20548	-0.06601	1																													
Ta ppm	-0.03577	-0.10758	-0.16535	0.10158	0.084862	-0.04698	-0.132	0.010587	0.085507	-0.09078	0.000221	-0.04955	-0.0554	0.497793	0.006151	-0.07378	-0.04073	-0.10616	0.435971	-0.03314	-0.14251	-0.04017	1																												
Y ppm	-0.07377	-0.06047	0.138281	0.116966	-0.18644	-0.05967	0.171829	0.120308	-0.06581	-0.0523	0.564881	0.150171	0.14073	-0.02203	0.144823	0.043551	-0.14488	0.35093	-0.05792	0.482987	0.414314	-0.10415	-0.09493	1																											
Hf ppm	-0.17708	-0.14971	0.125617	0.238275	-0.25996	-0.18284	0.07262	-0.04083	-0.19605	-0.10915	0.435949	-0.0415	-0.01801	-0.08251	-0.08351	0.103206	0.020762	0.359602	-0.1279	0.197961	0.501281	-0.16113	-0.13667	0.363915	1																										
Zr ppm	-0.20268	-0.21309	0.195862	0.262664	-0.26292	-0.19919	0.079478	-0.01922	-0.17406	-0.1744	0.559043	-0.0611	-0.04236	-0.04128	-0.1019	0.183065	-0.00012	0.430895	-0.15511	0.274378	0.534883	-0.20654	-0.15299	0.568809	0.771858	1																									
Nb ppm	-0.143	-0.23798	-0.09438	0.16635	-0.18094	-0.16334	-0.01936	-0.01292	-0.0627	-0.19248	0.066988	-0.26165	-0.16403	0.344308	-0.28504	-0.06442	-0.12818	0.049305	0.296001	0.185513	0.050224	-0.10906	0.793619	0.182932	0.066517	0.18797	1																								
La ppm	-0.19214	-0.08836	0.039886	0.008081	-0.12028	-0.19512	0.229098	-0.11575	-0.15413	-0.09629	0.305451	0.022703	-0.01785	-0.23372	-0.12688	-0.0101	0.069101	0.218118	-0.18244	0.200664	0.363346	-0.14445	-0.18499	0.554158	0.572087	0.670931	0.150921	1																							
Ce ppm	-0.14544	-0.04914	0.047284	0.016868	-0.14548	-0.15317	0.279276	-0.08593	-0.18312	-0.0593	0.315197	0.054602	-0.01019	-0.30155	-0.12926	-0.03113	0.034441	0.245534	-0.17803	0.18212	0.38412	-0.13815	-0.20854	0.557972	0.569864	0.662632	0.127708	0.978476	1																						
Th ppm	-0.14212	-0.2181	0.158525	0.24501	-0.17305	-0.15372	-0.09159	-0.02266	-0.05579	-0.18837	0.429836	-0.09428	0.059763	0.001593	-0.06793	-0.00125	-0.03489	0.399952	-0.10226	0.151512	0.480523	-0.15404	-0.1027	0.449158	0.673322	0.763327	0.203034	0.714202	0.683196	1																					
U ppm	-0.15117	-0.19322	0.175114	0.341847	-0.19216	-0.15575	-0.00892	-0.06764	-0.05664	-0.18159	0.45996	0.002064	0.086729	-0.00491	-0.00741	0.010812	0.009853	0.413627	-0.13984	0.117903	0.550176	-0.13432	-0.04202	0.486491	0.626643	0.707822	0.241514	0.756183	0.735903	0.880196	1																				
Se ppm	0.374641	0.1246	-0.2124	-0.01311	0.153176	0.361656	-0.04547	-0.1381	0.279556	-0.21402	0.10655	-0.13267	-0.14533	0.099871	-0.08771	0.314922	0.01151	-0.1334	0.641841	-0.06251	-0.13245	-0.0724	0.018703	-0.04352	-0.00203	0.056262	0.042233	0.055098	0.011622	0.039096	-0.02063	1																			
Rb ppm	0.025841	0.091642	0.211178	0.153655	0.216454	0.03759	-0.04399	0.212528	0.122323	0.022505	0.569524	0.838143	0.482056	0.399552	0.611463	-0.15299	-0.04649	0.343511	0.062885	-0.12974	0.267888	0.122965	0.070216	0.300549	0.048669	0.04374	-0.13625	0.07727	0.086861	0.119961	0.193048	-0.1346	1																		
In ppm	0.291527	0.358214	0.03285	0.009175	0.182014	0.284113	-0.009175	0.17164	0.490501	0.386637	0.237018	0.048113	-0.03793	0.097362	-0.00156	-0.2149	-0.14787	0.441545	-0.0313	-0.11933	-0.21005	-0.19631	-0.1343	-0.15931	-0.08518	-0.05507	-0.05273	0.19251	1																						
Te ppm	0.103636	-0.02847	0.081477	0.04612																																															

Anexo 7 – Matrizes de correlação das sondagens (ARG1505 – ARG1506)

ARG1506

Cu ppm

Zn ppm

Co ppm

Ni ppm

As ppm

Ag ppm

Ba ppm

Be ppm

Bi ppm

Cd ppm

Go ppm

Li ppm

Mn ppm

Mo ppm

P ppm

Pb ppm

Sb ppm

Sc ppm

Sn ppm

Sr ppm

V ppm

W ppm

Ta ppm

Y ppm

Hf ppm

Zr ppm

Nb ppm

La ppm

Ce ppm

Th ppm

U ppm

Se ppm

Rb ppm

In ppm

Te ppm

Cs ppm

Re ppm

Tl ppm

Al %

Ca %

Na %

K %

S ppm

Cr ppm

Fe %

Mg %

Ti %

1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.635979

0.1

0.211489

-0.4725

0.63597

Anexo 8 – *Thresholds* regionais e locais das amostras de solos

As		m1	m2	b1	b2
Threshold 1	185.7241	-0.1003	-1.195	13.363	19.082

B		m1	m2	m3	b1	b2	b3
Threshold	0.657169	-0.3597	-1.4983		11.472	10.994	
Threshold	1.649474		-1.4983	-2.1557		10.994	11.323

P		m1	m2	m3	b1	b2	b3
Threshold 1	361.6623	-0.0595	-1.8401		12.633	23.122	
Threshold 2	566.9495		-1.8401	-6.9096		23.122	55.264

Ta		m1	m2	b1	b2
Threshold	1.134565	-6.2731	-28.301	12.357	15.138

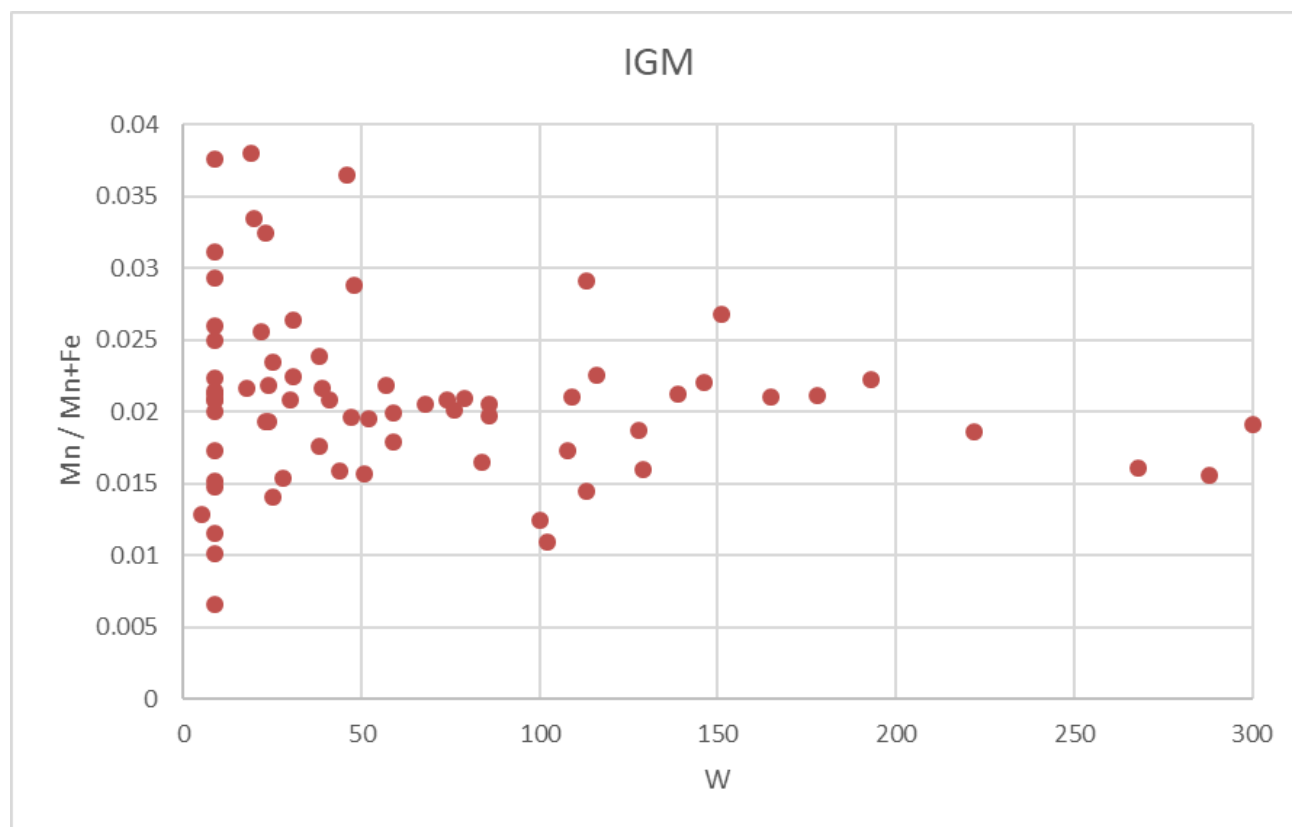
W		m1	m2	m3	b1	b2	b3
Threshold 1	65.35348	-0.5538	-1.2512		14.305	17.22	
Threshold 2	256.6135		-1.2512	-1.5991		17.22	19.15

Sn		m1	m2	b1	b2
Threshold 1	26.67114	-0.785	-1.0597	15.277	16.179
Threshold 2	64.45018	-0.8833	-2.7134	15.531	23.155

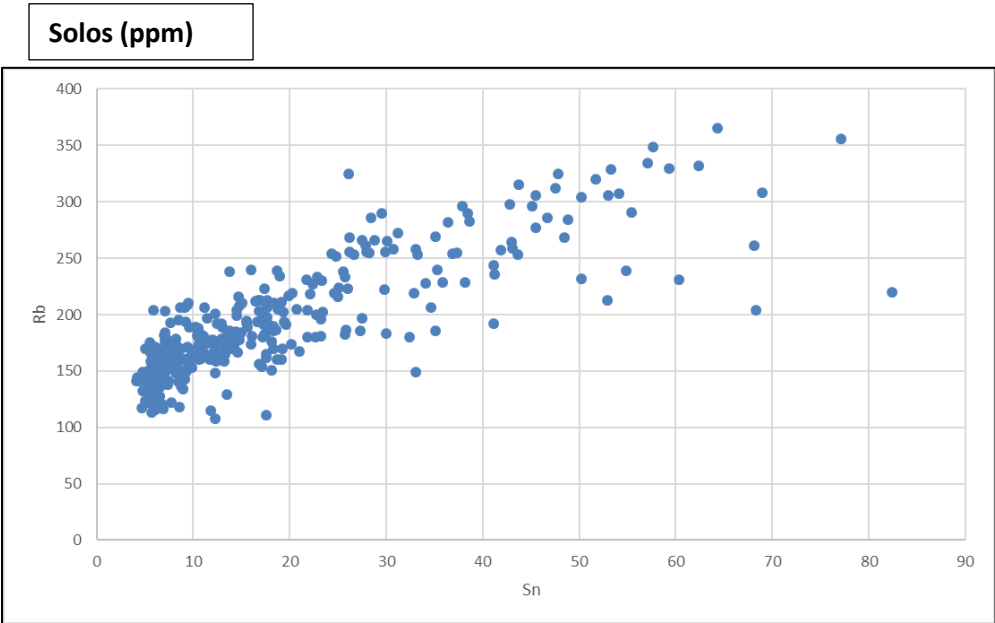
Nb		m1	m2	m3	b1	b2	b3
Threshold 1	15.15086	-2.3015	-14.366		17.84	50.632	
Threshold 2	16.76346		-14.366	-31.844		50.632	99.906

Ti		m1	m2	m3	b1	b2	b3
Threshold 1	4166.729	-2.0433	-26.187		28.995	230.23	
Threshold 2	4459.891		-26.187	-125.09		230.23	1061.3

Anexo 9 - Projecção gráfica de correlações elementares entre Mn-Fe-W a partir de amostra de solos da IGM



Anexo 10 – Indicadores analíticos da assinatura geoquímica de pegmatitos tipo LCT



Solos								
Estatística Descritiva:		Be	Cs	Li	Nb	Rb	Ta	Sn
Média		04.14	64.41	116.43	15.85	191.37	01.18	25.94
Mediana		03.56	44.45	101.50	15.80	178.25	01.18	17
Mínimo		01.91	11.70	35.70	11.80	107.50	00.93	4
Máximo		11.80	247.00	327.00	19.70	365.00	01.42	238

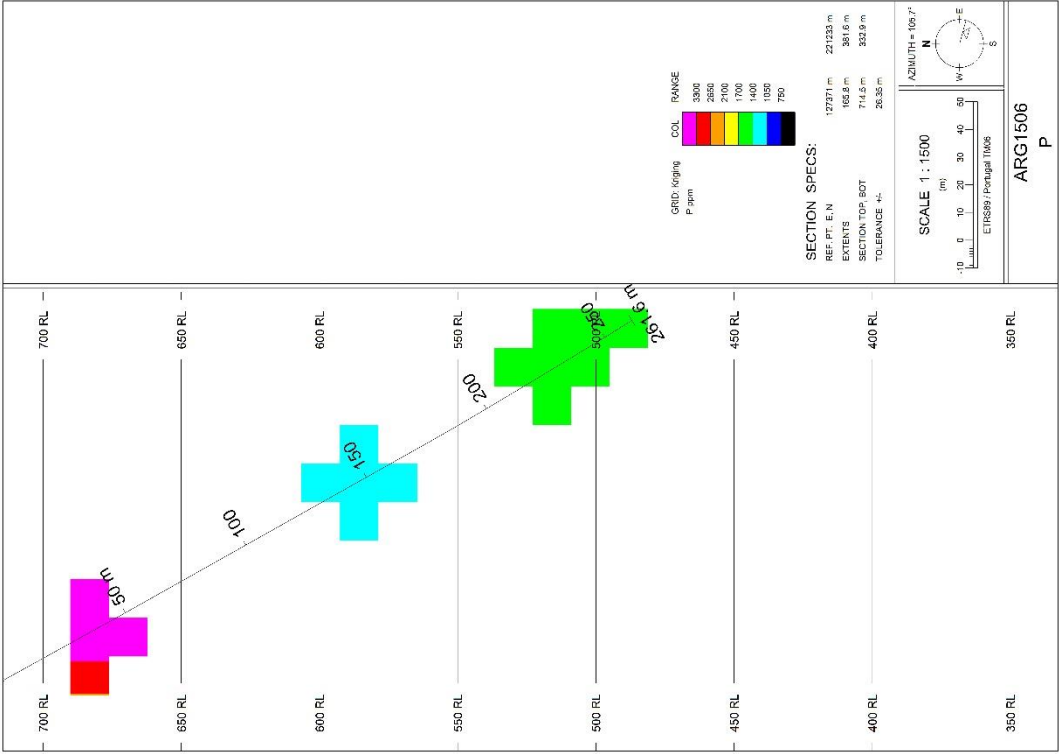
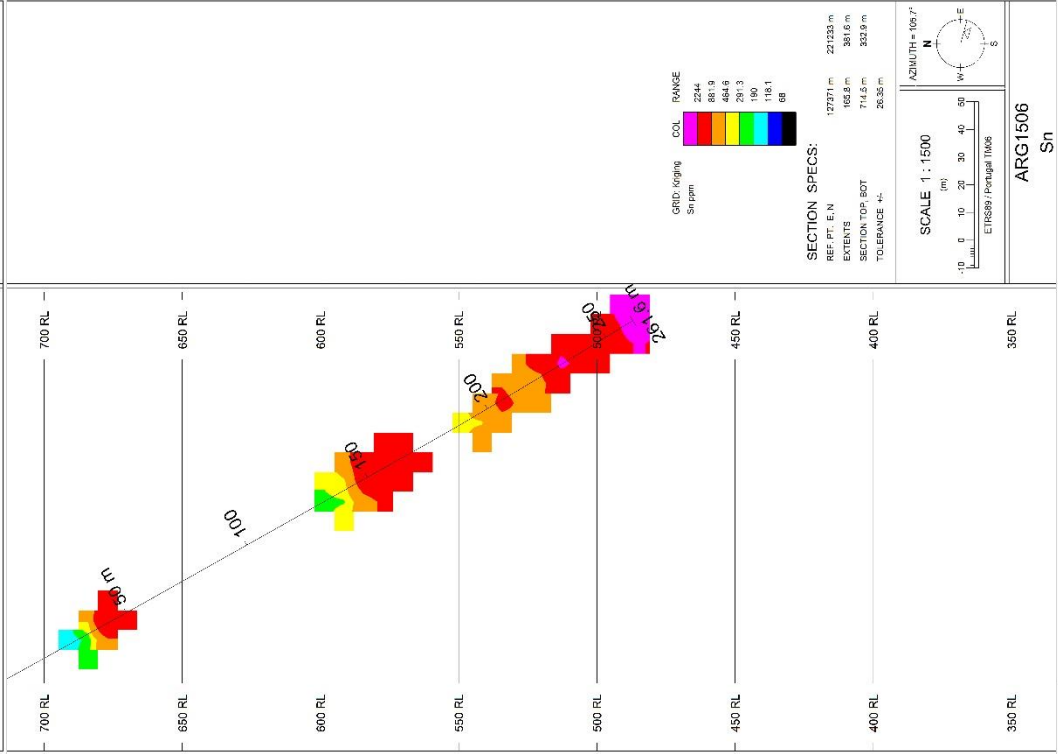
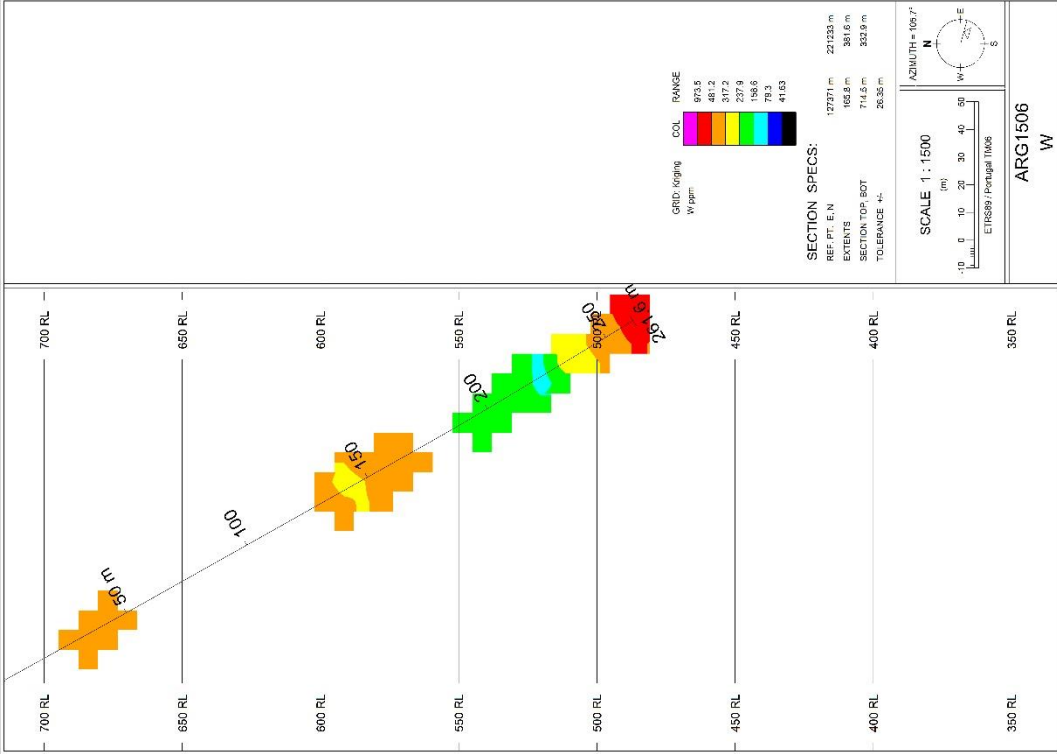
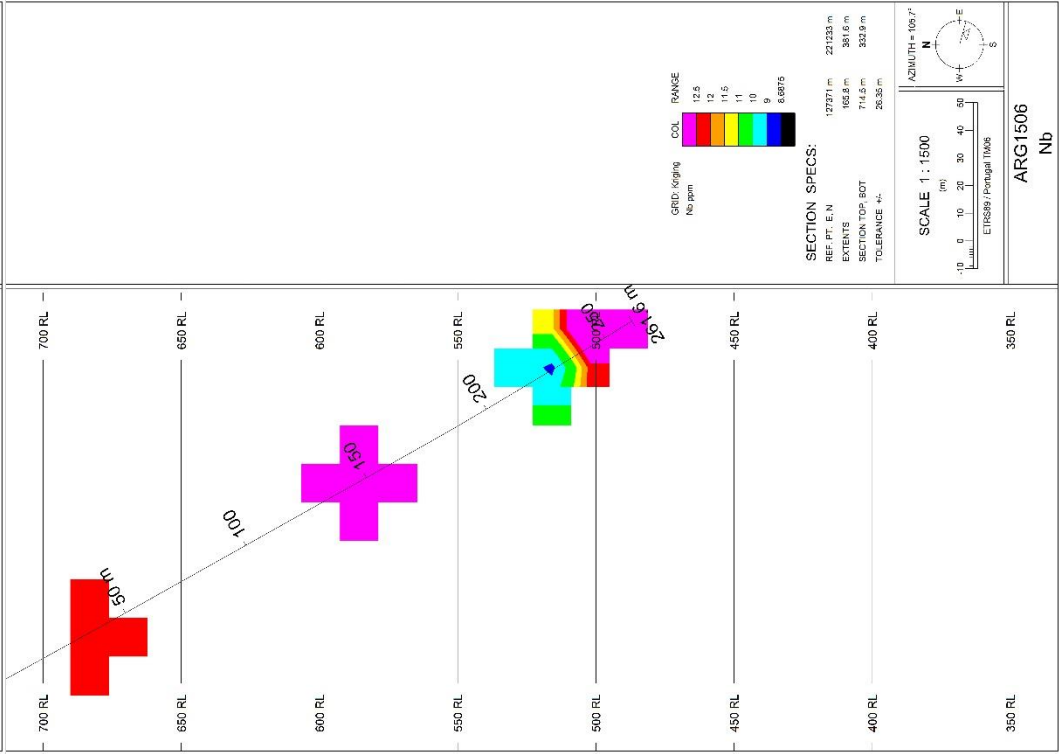
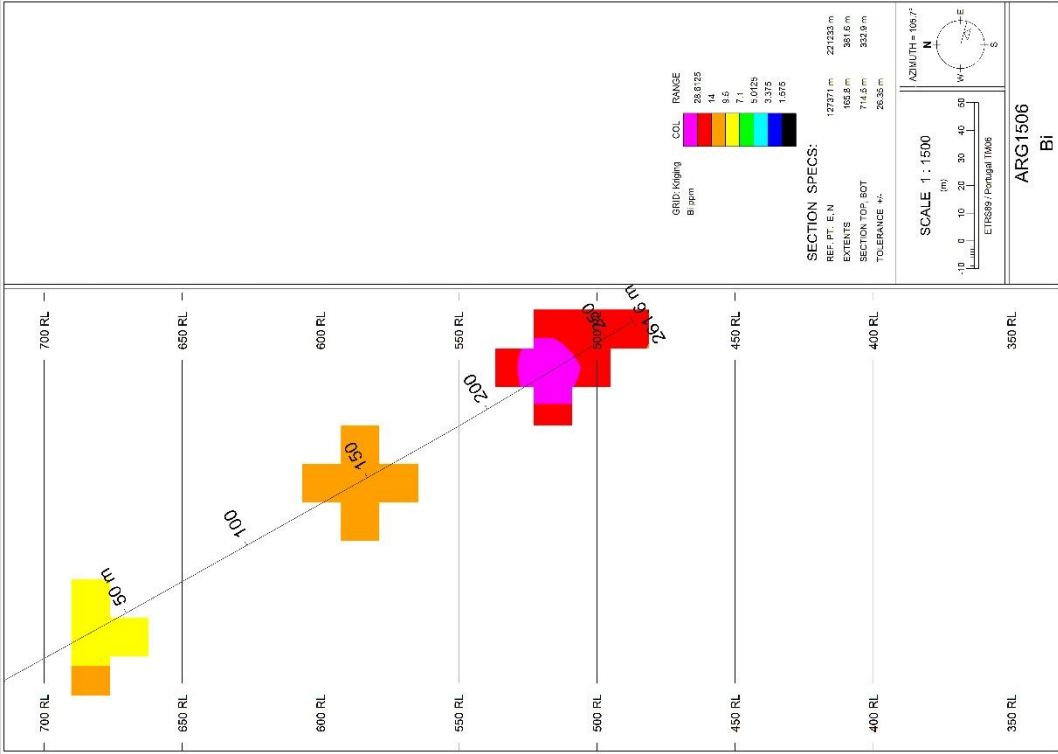
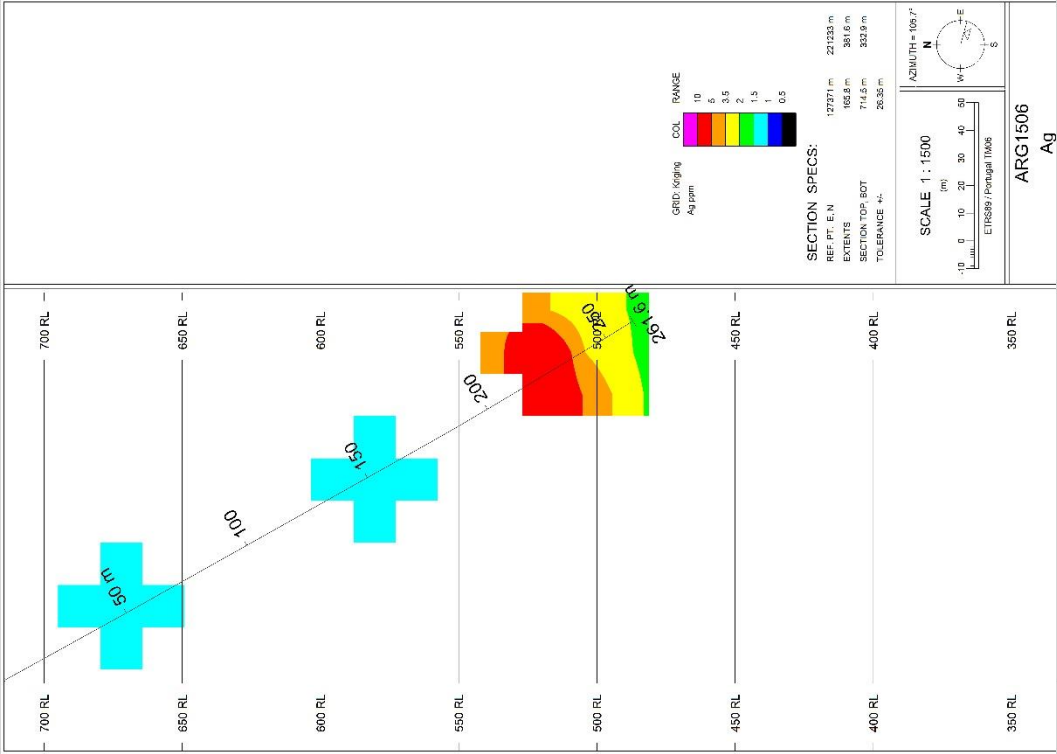
Sondagens							
Estatística Descritiva:	Be ppm	Li ppm	Sn ppm	Ta ppm	Nb ppm	Rb ppm	Cs ppm
Média	23.67	408.93	173.25	00.93	10.77	524.74	146.06
Mediana	16.80	396.00	155.00	00.80	11.00	530.50	139.50
Mínimo	03.20	61.00	08.00	00.40	04.00	144.00	08.60
Máximo	767.00	856.00	3100.00	17.10	30.00	1010.00	459.00

Matrizes de correlação - sondagens

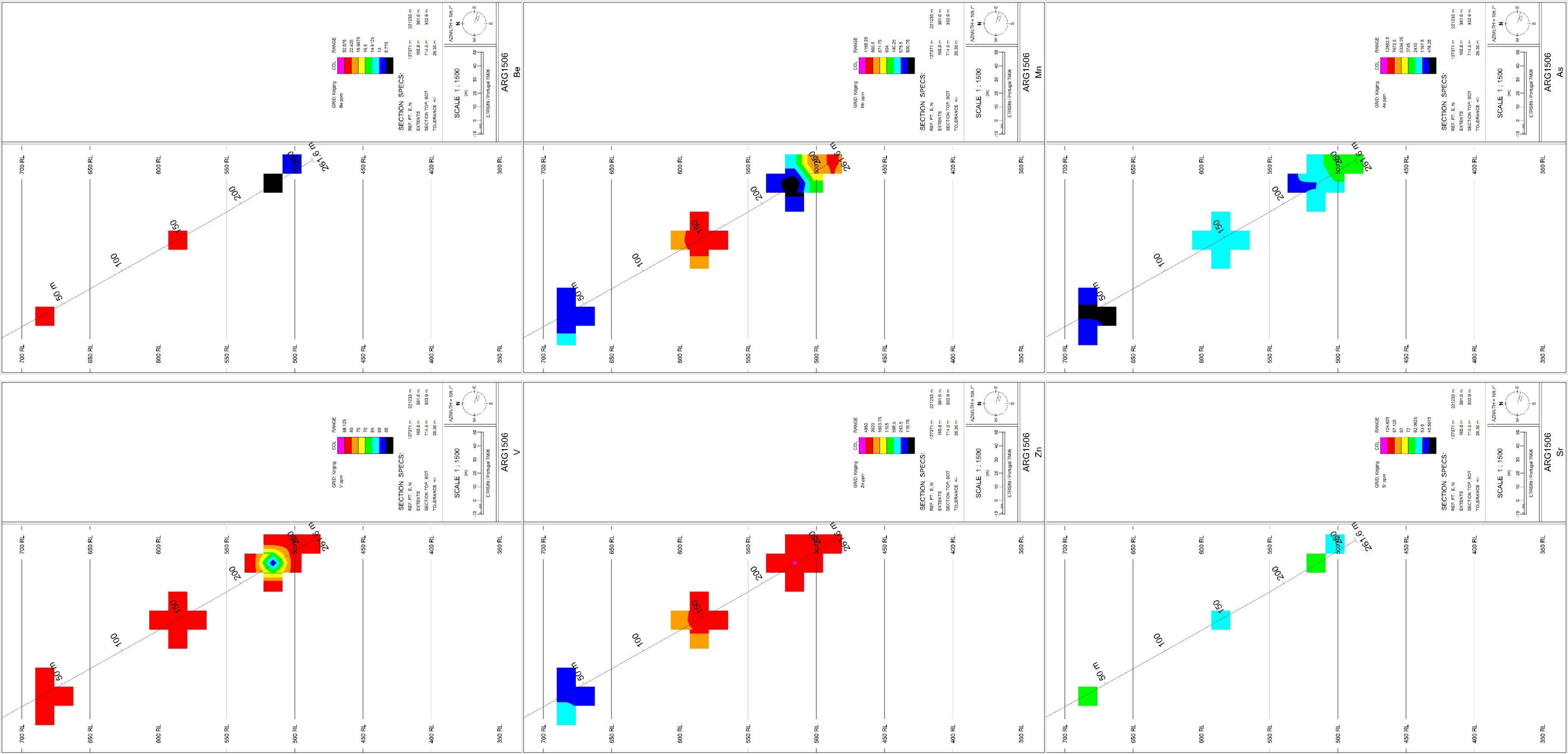
ARG1501	Cu ppm	Zn ppm	Co ppm	Ni ppm	As ppm	Ag ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Cd ppm	Ga ppm	Li ppm	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm
Cu ppm	1																		
Zn ppm	0.604849	1																	
Co ppm	-0.07707	-0.07212	1																
Ni ppm	-0.11603	-0.01651	0.109774	1															
As ppm	0.924438	0.513483	0.03214	-0.03666															
Ag ppm	0.275402	0.450599	-0.17397	0.623317	0.381007	1													
Ba ppm	0.235121	-0.20878	-0.05092	0.364386	0.35475	0.543727	1												
Be ppm	0.365841	-0.36333	0.1716	-0.05576	0.561749	-0.13305	0.462038	1											
Bi ppm	0.488539	0.112344	0.193553	0.062667	0.556131	0.320046	0.785027	0.450123	1										
Cd ppm	0.616767	0.989189	-0.06283	-0.02699	0.511361	0.413472	-0.16447	-0.33484	0.191772	1									
Ga ppm	0.680952	0.093487	-0.07166	-0.00372	0.859472	0.364891	0.649556	0.800268	0.641542	0.09963	1								
Li ppm	0.893646	0.323288	-0.01615	-0.0446	0.953379	0.356367	0.494228	0.635688	0.57328	0.319263	0.903638	1							
Mn ppm	0.066663	-0.50725	0.181574	0.302268	0.285344	0.107111	0.7521	0.816551	0.621697	-0.44983	0.641485	0.364922	1						
Mo ppm	-0.35207	-0.53496	0.242065	-0.51249	-0.12167	-0.76798	-0.07226	0.332669	0.150474	-0.45583	-0.09304	-0.28623	0.314329	1					
P ppm	-0.03264	-0.2669	0.166662	0.15464	0.150034	0.247098	0.786019	0.082347	0.7663	-0.19785	0.508577	0.228515	0.765095	0.408728	1				
Pb ppm	0.400826	0.410627	-0.3792	-0.19901	0.575434	0.380947	-0.09395	0.027415	-0.11818	0.308299	0.406222	0.440453	-0.24787	-0.52376	-0.2812	1			
Sb ppm	0.334068	0.813169	-0.04207	0.473246	0.251128	0.731282	0.011638	-0.52432	0.04222	0.795258	-0.07563	0.131693	-0.41076	-0.77045	-0.20007	0.172127	1		
Sc ppm	0.428973	-0.04852	-0.17538	0.22442	0.659726	0.46291	0.619877	0.475703	-0.06009	0.859788	0.859788	0.69519	-0.22771	0.414259	0.483029	-0.09482	1		
Sn ppm	0.856031	0.871688	-0.06809	0.831035	0.433082	0.07997	0.08859	0.400584	0.872528	0.872528	0.872528	0.71204	0.16092	-0.40797	-0.00073	0.415171	0.619815	0.224863	1
Sr ppm	-0.02061	-0.71106	0.153794	-0.14082	0.153201	-0.36227	0.455889	0.381879	-0.66581	0.531059	0.841775	0.625457	0.576889	-0.21831	-0.85059	0.499812	0.400587		
V ppm	0.502637	0.116312	0.138975	0.270851	0.718982	0.570597	0.663498	0.600657	0.576795	-0.11688	0.809931	0.731126	0.616065	-0.3351	0.417919	0.335502	0.851103	0.403814	
W ppm	0.677427	0.368613	0.041494	0.125724	0.86646	0.327893	0.209587	0.590843	0.251572	0.280943	0.796245	0.812562	0.291684	-0.38908	0.068797	0.662587	0.147664	0.735646	0.620251
Ta ppm	0.42516	-0.05123	-0.19002	-0.16085	0.657227	0.13932	0.28386	0.768582	0.191277	-0.08287	0.833185	0.667393	0.291637	-0.03525	0.225408	0.594221	-0.29387	0.842701	0.295639
Y ppm	0.073667	-0.60335	-0.04255	-0.26154	0.241886	-0.37507	0.192056	0.819732	0.107577	-0.61284	0.532679	0.332798	0.61274	0.395356	0.19925	0.204521	-0.81213	0.598944	-0.28851
HF ppm	0.459609	0.052155	-0.31362	-0.23128	0.858305	0.198099	0.458216	0.621986	0.340091	0.0774	0.776764	0.641287	0.446016	0.022373	0.37729	0.295127	-0.11375	0.647008	0.346559
Zr ppm	0.519151	0.003371	-0.57054	-0.34166	0.502842	-0.03373	0.154438	0.444351	0.142254	-0.00358	0.564199	0.532293	0.202671	-0.10028	-0.11847	0.574996	-0.29403	0.640275	0.157674
Nb ppm	0.591507	0.002589	-0.19124	-0.21147	0.749623	0.08733	0.238879	0.778301	0.233306	-0.02543	0.847797	0.77366	0.42848	-0.03084	0.139637	0.590627	-0.3042	0.779162	0.355073
La ppm	0.369384	0.018232	-0.20919	-0.11681	0.537884	0.024424	-0.1037	0.557891	-0.1765	-0.06118	0.731518	0.511725	0.168148	-0.18922	-0.18696	0.7209	-0.23865	0.62776	0.216021
Ce ppm	0.250824	-0.07332	-0.11738	0.16055	0.463042	0.158251	-0.01071	0.567184	-0.22271	-0.15522	0.539301	0.456421	0.275181	-0.30102	-0.14637	0.601444	-0.151	0.662718	0.119058
Th ppm	0.570624	0.041894	-0.38667	0.168629	0.702989	0.344873	0.388962	0.663315	0.209367	-0.09839	0.81731	0.738864	0.459373	-0.31816	0.131212	0.563751	-0.05788	0.857008	0.328159
U ppm	0.242143	-0.2468	-0.25961	-0.08531	0.46606	0.133237	0.349275	0.6663	0.221813	-0.28303	0.705034	0.487243	0.547751	-0.02593	0.229094	0.601266	-0.04604	0.885615	-0.01603
Se ppm																			
Rb ppm	0.794187	0.260567	-0.01971	-0.25453	0.913161	0.126899	0.238836	0.712019	0.388762	0.237356	0.876743	0.90986	0.312448	-0.10468	0.138533	0.587549	-0.0905	0.6745	0.634042
Ir ppm	0.720519	0.357948	-0.14261	-0.58981	0.715697	-0.14639	-0.10185	0.421016	0.168306	0.342056	0.563789	0.705966	-0.08488	4.82E-17	-0.14543	0.551587	-0.11046	0.281091	
Te ppm	0.156118	-0.17707	0.375823	-0.40396	0.111247	-0.46291	0.015754	0.299335	0.27916	-0.1475	0.103175	0.199271	0.48795	0.169718	-0.28624	-0.36914	-0.25926	0.078784	
Cs ppm	0.401216	-0.22973	0.063845	-0.19274	0.559695	-0.26029	0.039836	0.849708	0.056024	-0.25721	0.655484	0.584841	0.469294	0.150167	0.031708	0.363075	-0.51051	0.619381	0.118254
Re ppm	0	0.70726	-2.5E-16	-2.1E-16	-0.94E-13	-0.04E-13	0	0	-6E-17	0	5.08E-16	-1.5E-16	0	9.38E-18	0	-1.9E-16	2.55E-16	0	-1.2E-16
Ti ppm	0.705796	0.070701	0.376266	-0.21146	0.821758	-0.096537	0.167178	0.807773	0.292751	0.049917	0.810806	0.827762	0.40275	0.01471	0.06092	0.47541	-0.26177	0.673477	0.451847
Al %	0.744801	0.985951	-0.02429	0.226129	0.846252	0.40266	0.660915	0.711012	0.595961	0.100547	0.904833	0.908603	0.607036	-0.33273	0.307968	0.348036	0.061549	0.849547	0.467928
Ca %	-0.07655	-0.41094	0.263985	0.494368	0.093091	0.308537	0.84019	0.49939	0.64167	-0.3487	0.425696	0.208621	0.836814	0.216008	0.870423	-0.47665	-0.11466	0.383934	-0.13306
Na %	-0.49945	-0.3282	-0.32229	-0.27309	-0.67213	-0.47634	-0.51483	-0.47944	-0.60237	-0.34579	-0.67857	-0.65343	-0.43511	0.088518	-0.60352	-0.03799	-0.31469	-0.39855	-0.64972
K %	0.827029	0.242389	-0.05531	0.038835	0.940807	0.38389	0.533612	0.704635	0.596761	0.237945	0.945306	0.955124	0.50046	-0.27243	0.279767	0.497531	0.051878	0.836218	0.608839
S ppm	0.156778	0.445413	-0.35823	-0.59108	0.088585	-0.12487	-0.54462	-0.35773	-0.23887	0.428367	-0.14194	-0.07122	-0.58736	-0.08295	-0.47166	0.639338	0.045305	-0.06746	0.237966
Cr ppm	-0.18413	-0.29375	0.28523	0.609321	0.018206	0.29277	0.467201	0.372981	0.306911	-0.26432	0.227082	-0.00443	0.692198	-1.6E-17	0.462252	-0.31398	-0.05753	0.421637	-0.2032
Fe %	0.521352	0.069137	0.05347	0.583689	0.745833	0.583237	0.759913	0.712465	0.673297	0.073016	0.916783	0.773165	0.74329	-0.21739	0.617047	0.293376	0.087868	0.889985	0.422179
Mg %	0.295942	-0.1042	0.093551	0.571423	0.50359	0.629046	0.893019	0.596623	0.678854	-0.07976	0.742089	0.572053	0.816301	-0.19274	0.725754	-0.00893	0.120605	0.756045	0.204406
Ti %	0.649118	0.116681	-0.0593	0.158295	0.841736	0.359116	0.44303	0.7759	0.406719	0.090508	0.906969	0.831264	0.579407	-0.26177	0.244899	0.51304	-0.0341	0.91165	0.450624

Arg1502	Cu ppm	Zn ppm	Co ppm	Ni ppm	As ppm	Ag ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Cd ppm	Ga ppm	Li ppm	Mn ppm	Mo ppm	P ppm	Pb ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sn ppm
Cu ppm	1																		
Cu ppm	0.62399																		
Co ppm	-0.22655	0.034992																	
Ni ppm	0.098533	0.218586	0.414425	1															
As ppm	0.376672	0.02578	0.050212	0.075909															
Ag ppm	0.470962	0.291185	0.062994	-0.16266	0.150233	1													
Ba ppm	0.136975	0.259085	0.104185	0.485975	0.10705	-0.00902	1												
Be ppm	0.644907	0.424445	0.08755	0.042784	0.649959	0.576398	0.084802	1											
Bi ppm	0.61492	0.345326	0.115778	-0.13171	0.367119	0.897843	-0.01003	0.751808	1										
Cd ppm	0.667575	0.933954	-0.10159	0.123334	0.097133	0.362174	0.144473	0.570671	0.478905	1									
Ga ppm	0.152924	0.113218	0.107243	0.59125	0.373295	-0.09617	0.720542	0.320995	-0.03899	0.090994	1								
Li ppm	0.171751	0.306948	-0.17997	0.056683	0.689152	0.254154	0.342603	0.606625	0.263293	0.285531	0.423562	1							
Mn ppm	0.685924	0.605947	-0.07023	-0.06732	0.35373	0.342271	-0.18904	0.643377	0.387292	0.664153	0.10501	0.510905	1						
Mo ppm	0.248375	-0.34825	0.052926	0.023038	0.357799	0.046676	-0.2822	0.066114	-0.10556	-0.32903	-0.01502	0.33819	0.134228	1					
P ppm	0.263907	0.007763	-0.20451	-0.145	0.753107	-0.14258	0.068998	0.338918	0.016388	0.050173	0.261204	0.598141	0.209542	0.189942	1				
Pb ppm	0.391066	0.433799	0.03561	-0.10093	0.13701	0.831005	-0.11492	0.619282	0.884668	0.598371	-0.07179	0.037277	0.468494	-0.22462	-0.07729	1			
Sb ppm	-0.02639	-0.14469	0.309573	0.030779	0.081937	0.72367	0.048731	0.138546	0.627019	-0.16089	-0.03295	-0.07409	-0.13185	0.119719	-0.26137	0.521031	1		
Sc ppm	0.152899	0.244493	0.242747	0.787554	0.130497	0.030583	0.68843	0.646191	0.015507	0.212661	0.816322	0.089498	-0.02075	-0.11749	0.110077	0.132897	1		
Sn ppm	0.724676	0.377182	-0.1003	0.031175	0.801834	0.163854	0.184	0.646191	0.325334	0.394458	0.2	0.87652	0.617202	0.232774	0.692454	0.122767	-0.14735	0.056561	1
Sr ppm	0.360745	0.081874	0.21268	0.064495	-0.16139	0.503789	-0.34654	0.465011	0.539575	-0.08762	0.621238	-0.04907	-0.32337	0.694281	-0.21765	0.117733			-0.05837
V ppm	0.066447	0.208753	0.366618	0.073911	-0.02609	0.17552	0.619481	0.153363	0.143788	0.195231	0.689671	-0.0359	0.436567	-0.04657	-0.31118	0.248423	0.325652	0.932397	-0.12135
W ppm	0.346128	0.234555	-0.21171	-0.20419	0.525287	0.160863	-0.01353	0.308953	0.244609	0.317911	-0.03587	0.428282	0.220348	0.076506	0.805112	0.267102	-0.11363	-0.16393	0.539967
Ta ppm	0.072821	0.413072	0.25	0.613668	-0.24475	0.136487	0.364448	0.189513	0.111678	0.429179	0.05187	-0.11719	0.191787	-0.19847	-0.50511	0.303492	0.088887	0.728241	-0.24156
Sr ppm	0.230657	0.321992	0.167129	0.358678	0.379853	-0.03393	0.137732	0.539203	0.086529	0.401983	0.555074	0.253247	0.537236	0.117831	0.035655	0.158716	-0.26045	0.556305	0.266939
Hf ppm	0.283135	0.329455	-0.06888	0.203501	0.017001	0.277713	0.262451	0.394048	0.20557	0.431883	0.439328	0.160104	0.358859	0.082028	-0.24976	0.364762	0.051019	0.59039	0.003109
Zr ppm	0.191318	0.166341	-0.02959	0.343323	-0.21133	0.140383	0.020932	0.164167	-0.01405	0.205605	0.34339	-0.08994	0.364721	0.057384	-0.40922	0.223198	0.090374	0.534555	-0.23149
Nb ppm	0.03621	0.238491	-0.03571	0.581663	-0.12004	0.061446	0.423455	0.213004	0.046265	0.203616	0.66782	-0.01124	0.120652	-0.14121	-0.3552	0.220792	0.079702	0.803551	-0.24084
La ppm	-0.01896	0.232928	0.221283	0.52939	-0.0281	0.181172	0.168725	0.220894	0.16874	0.285458	0.400582	-0.14842	0.124259	-0.00021	-0.433	0.309407	0.174463	0.655064	-0.25342
Ce ppm	0.09983	0.32309	0.173529	0.514862	0.044233	0.21652	0.21123	0.269915	0.182344	0.351857	0.42907	-0.02792	0.203864	0.058707	-0.35363	0.306756	0.163425	0.671451	-0.14878
Th ppm	0.212154	0.405354	0.094391	0.518965	-0.04978	0.211311	0.236923	0.284104	0.191947	0.442515	0.444394	-0.01126	0.317245	-0.02951	-0.42229	0.246914	0.060573	0.70415	-0.09607
U ppm	0.176521	0.409942	-0.16683	0.34365	-0.17564	0.197253	0.127138	0.133921	0.162234	0.508547	0.145723	-0.1032	0.161104	-0.12022	-0.43215	0.3476	-0.02195	0.468272	-0.18561
Se ppm																			
Rb ppm	0.581776	0.15698	-0.14721	0.14639	0.748864	0.05176	0.426502	0.598408	0.141062	0.161082	0.648331	0.893231	0.387519	0.257264	0.171843	-0.05903	-0.01818	0.2724	0.817774
Sn ppm	0.555666	0.700656	-0.1596	0.030527	0.246681	0.330657	0.186576	0.635594	0.529842	0.877547	0.219486	0.244439	0.602796	-0.31253	0.124175	0.632909	-0.15328	0.303978	
Te ppm	-0.21471	-0.15405	0.408448	-0.009726	0.629993	0.475769	-0.25581	0.192223	0.523409	-0.14411	-0.25497	-0.18236	-0.07315	0.129641	-0.22975	0.363771	0.68134	-0.05717	-0.11158
Cs ppm	0.153665	0.316374	0.162466	0.277727	0.561207	0.091929	0.37446	0.663635	0.150137	0.299964	0.584812	0.630854	0.404823	0.718191	0.416296	0.032627	-0.15877	0.410196	0.532201
Re ppm	0.036256	0.023043	-0.14003	-0.06696	0.344550	-0.10764	-0.02806	-0.05113	-0.03031	0.066968	-5.2E-17	0.198671	-0.05307	0.088993	0.726034	0.053717	-0.19193	-0.10982	0.24157
Ti ppm	0.173059	0.275007	-0.05905	0.219024	0.701757	0.160603	0.442798	0.665328	0.222032	0.267767	0.632451	0.900261	0.44	0.300566	0.660103	0.015365	-0.13577	0.314434	0.826677
Al %	0.179632	0.221768	0.211413	0.71539	0.159884	0.102155	0.719948	0.333986	0.14787	0.219812	0.894825	0.215503	0.083809	-0.12696	-0.10541	0.166301	-0.177521	0.915121	0.086228
K %	0.228064	0.375104	0	-0.06643	-0.17172	0.208746	-0.4475	0.253459	0.247238	0.15118	-0.184841	-0.21282	0.670383	-0.14983	-0.10981	0.586305	0.09789	0.046346	0.024796
Na %	0.100284	0.181874	0.084404	-0.15974	-0.21696	0.496998	-0.42113	0.300915	0.514754	0.265219	-0.23027	-0.30003	0.188453	-0.10369	-0.41337	0.587865	0.419431	-0.17843	-0.30129
K %	0.144548	-0.01313	-0.02161	0.531021	0.652621	-0.14249	0.879686	0.059206	-0.16692	0.08816	0.820046	0.48965	-0.16542	-0.00801	0.255015	-0.27262	0.10761	0.688425	0.299236
S ppm	0.695504	0.463097	0.106429	0.342087	0.29701	0.315399	0.757381	0.589279	0.405552	0.426781	0.420432	0.808168	0.371673	0.151719	0.534687	0.121294	0.103782	0.417082	0.835955
Cr ppm	0.347553	0.23745	-0.21224	0.434371	0.017479	0.310178	0.320349	0.218626	0.115442	0.239469	0.45308	0.26152	0.059246	0.175322	-0.06031	0.190249	0.137001	0.532639	-0.04896
Fe %	0.175532	0.345525	0.383016	0.763367	0.044282	0.068304	0.6064	0.158895	0.014127	0.279902	0.730305	0.060274	0.167659	0.051969	-0.23519	0.137671	0.147351	0.95101	-0.01186
Mg %	0.236942	0.323902	0.258276	0.701946	-0.02902	0.060346	0.406228	0.265929	-0.08001	0.301170	0.645741	0.089357	0.335867	0.051447	-0.27294	0.160623	-0.00285	0.847575	-0.00024
Ti %	0.086043	0.353439	0.16859	0.607105	-0.05252	0.136428	0.427641	0.220071	0.140197	0.374561	0.538881	-0.05793	0.188847	-0.1256	-0.43102	0.274424	0.153414	0.825273	-0.15255

Anexo 11 – Perfis de sondagem ARG1506 - A



Anexo 12 – Perfis de sondagem ARG1506 - B



Anexo 13 – Tabela de parâmetros utilizados na modelação em 2D do W

Input datasets

[-] Dataset	C:\Users\Ramos\Documents\ArcGIS\Default.gdb\Solos_W_Merge
Type	Feature Class
Data field 1	W
Records	1220
[-] Method	Kriging
Type	Ordinary
Output type	Prediction
[-] Dataset #	1
Trend type	None
[-] Transformation	Log
[-] Searching neighborhood	Standard
Neighbors to include	15
Include at least	10
Sector type	Full
Major semiaxis	90.51685
Minor semiaxis	37.66032
Angle	25.66406
[-] Variogram	Semivariogram
Number of lags	12
Lag size	9.604505
Measurement error %	100
[-] Model type	Exponential
Range	90.51685
Anisotropy	Yes
Minor range	37.66032
Direction	25.66406
Partial sill	0.2639943

Anexo 14 – Gráfico de correlação elementar entre W e razão Mn/(Mn + Fe) em amostras de sondagem.

